

Aus dem
Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Lotzmann
Klinik für Zahnerhaltungskunde
Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH
Standort Marburg

Untersuchung zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden NiTi Instrumenten, [In-vitro]

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
dem Fachbereich Humanmedizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Mareike Ott

aus Lübeck

Marburg, 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
am: 20.03.2008

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund
Referent: Prof. Dr. V. Stachniss
Korreferent: Prof. Dr. M. Gente

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Problemstellung	1
2.	Literaturübersicht	3
2.1.	Ziele der Wurzelkanalaufbereitung	3
2.2.	Formgebungsfehler bei der Wurzelkanalaufbereitung	3
2.3.	Techniken der Wurzelkanalaufbereitung	6
2.3.1.	Manuelle Aufbereitungstechniken	6
2.3.2.	Maschinelle Aufbereitung mit rotierenden NiTi Feilen	9
2.4.	Nickel-Titan Legierung für Aufbereitungsinstrumente	10
2.5.	Frakturen von maschinellen NiTi-Feilen	11
2.6.	Maschinelle Aufbereitungssysteme aus NiTi	13
2.6.1.	ProTaper – Feilen der Fa. Maillefer	13
2.6.2.	K3 – Feilen der Fa. SyronEndo	15
2.6.3.	Mtwo – Feilen der Fa. VDW	16
2.7.	Studienmodelle und Auswertungen	18
2.7.1.	Einsatz von Studienmodellen	18
2.7.2.	Auswertung von Aufbereitungsergebnissen	19
2.7.3.	Statistische Verfahren	20
3.	Zielsetzung und Arbeitshypothesen	21
4.	Material und Methode	23
4.1.	Artifizielle Wurzelkanäle	23
4.1.1.	Versuchsdesign artifizielle Wurzelkanäle	23
4.1.2.	Vorbehandlung der Prüfkörper	24
4.1.3.	Bilddokumentation der Prüfkörper	25
4.1.4.	Versuchsablauf	26
4.1.5.	Bilddokumentation der bearbeiteten Prüfkörper	31
4.1.6.	Beurteilung der Kanal-Morphologie	31
4.1.7.	Beurteilung der Aufbereitungslängen	32
4.1.8.	Beurteilung der apikalen Foramina	33
4.1.9.	Überlagerung am PC	35
4.1.10.	Beurteilung der Transportation	36
4.1.11.	Auswertung der Instrumentenfrakturen	37

4.2.	Natürliche humane Zähne.....	38
4.2.1.	Versuchsdesign natürliche humane Zähne.....	38
4.2.2.	Vorbehandlung der humanen Unterkiefermolaren.....	39
4.2.3.	Herstellung der Röntgenaufnahmen.....	40
4.2.4.	Versuchsablauf.....	42
4.2.5.	Beurteilung der Aufbereitungslängen.....	42
4.2.6.	Überlagerung am PC.....	43
4.2.7.	Beurteilung der Transportation.....	45
4.3.	Statistische Auswertung.....	45
5.	Ergebnisse.....	47
5.1.	Artifizielle Wurzelkanäle.....	47
5.1.1.	Morphologische Beurteilung der aufbereiteten Wurzelkanäle.....	47
5.1.2.	Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen.....	49
5.1.3.	Qualitative Beurteilung der apikalen Foramina.....	50
5.1.4.	Quantitative Untersuchung zur Kanaltransportation.....	51
5.1.5.	Halb-Quantitative Beurteilung der Konizitäten.....	54
5.1.6.	Häufigkeiten von Frakturen.....	55
5.1.6.1.	Instrumentenfrakturen.....	55
5.1.6.2.	Instrumentenfraktur in Bezug zur Instrumentengröße.....	55
5.1.7.	Aufbereitungszeiten.....	55
5.2.	Natürliche humane Zähne.....	56
5.2.1.	Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen.....	56
5.2.2.	Quantitative Untersuchung zur Kanaltransportation.....	57
5.2.3.	Halb-Quantitative Beurteilung der Konizitäten.....	60
5.2.4.	Häufigkeiten von Frakturen.....	60
5.2.5.	Aufbereitungszeiten.....	61

6.	Diskussion.....	62
6.1.	Material und Methode.....	62
6.1.1.	Studienmodelle artifizielle Kanäle und natürliche humane Zähne.....	62
6.1.2.	Aufbereitung der Wurzelkanäle.....	63
6.1.3.	Auswertungen.....	64
6.1.3.1.	Beurteilung der Kanalmorphologie.....	64
6.1.3.2.	Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen und qualitative Beurteilung der apicalen Foramina.....	65
6.1.3.3.	Quantitative Untersuchung zur Kanaltransportation und Beurteilung der Konizitäten.....	66
6.1.3.4.	Instrumentenfrakturen.....	68
6.2.	Ergebnisse.....	69
6.2.1.	Morphologische Beurteilung der aufbereiteten Wurzelkanäle.....	69
6.2.2.	Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen und qualitative Beurteilung der apicalen Foramina.....	71
6.2.3.	Quantitative Untersuchung zum Materialabtrag und zur Kanaltransportation.....	72
6.2.4.	Frakturen von Instrumenten.....	74
6.2.5.	Aufbereitungszeiten.....	75
6.3.	Schlussfolgerungen.....	76
7.	Zusammenfassungen.....	77
7.1.	Zusammenfassung für das Rigorosum.....	77
7.2.	deutsches Abstract.....	81
7.3.	englisches Abstract.....	82
8.	Literaturverzeichnis.....	83
9.	Anhang.....	99
9.1.	Materialliste.....	99
9.2.	Liste physikalisch-chemischer Abkürzungen.....	101

10.	Danksagung	102
11.	Verzeichnis der Akademischen Lehrer	103

1. Einleitung und Problemstellung

Das Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Säuberung und Formgebung des Kanalsystems, um nekrotisches Gewebe und Mikroorganismen zu eliminieren. Die ideale Präparationsform eines Kanals ist eine kontinuierlich konische Form, die den geringsten Durchmesser am Apex der Wurzel und den größten Durchmesser am Kanaleingang aufweist.

Die Bearbeitung des Kanals kann manuell mit Handinstrumenten oder mit maschinell angetriebenen rotierenden Feilen durchgeführt werden.

Herkömmlich verwendete manuelle Edeldahlinstrumente, die ein hohes E-Modul besitzen, können Veränderungen der Kanalgeometrie, wie z.B. eine Trichter- (Zip) oder Sanduhrform (Elbow) in Apexnähe, eine Stufenbildung (Ledge) oder Transportationen des Kanalverlaufes und im schlimmsten Fall Perforationen hervorrufen, die eine lege artis Füllung unmöglich machen.

Rotierende Nickel-Titan-Instrumente weisen ein niedriges E-Modul auf, wodurch sie immer mehr an Beliebtheit und Akzeptanz gewinnen, da sie insbesondere die Aufbereitung von gekrümmten Kanälen vereinfachen. Sie zeichnen sich durch einen pseudoelastischen Charakter aus, der es ermöglicht, stärkeres Biegen auszuhalten, bevor die elastische Grenze des Materials erreicht wird. Dadurch können Formabweichungen des Kanals eher vermieden werden und die Kanalgeometrie erhalten bleiben.

Aktuell (~ 2007) gibt es zahlreiche maschinelle NiTi-Aufbereitungssysteme von verschiedenen Herstellern, die sich in ihrer Geometrie und Anwendungsweise unterscheiden.

Bis auf wenige Ausnahmen ist allen NiTi-Systemen die Vorgehensweise der „Crown-down-Technik“ gemeinsam. Für viele erfahrene Behandler ist diese Technik selbstverständlich geworden. Für Anfänger der maschinellen Aufbereitung ist die Vorgehensweise von koronal nach apikal ungewohnt und stellt häufig ein Hindernis dar.

Seit 2003 ist ein System auf dem Markt verfügbar, das auf die „Standardisierte Technik“ von *Ingle* (1961) zurückgreift. Hierbei wird die zuerst zu benutzende Feile bereits auf die volle Arbeitslänge gebracht und der Kanal wird anschließend auf derselben Arbeitslänge erweitert.

Bei der manuellen Aufbereitung von gekrümmten Kanälen mit Edelstahlinstrumenten gilt diese Aufbereitungstechnik als problematisch, da sie verstärkt zu Begradigungen gekrümmter Kanäle und Transportationen führen kann. Im Vergleich zu der Aufbereitung mit der „Crown-down-Technik“ ist eine erhöhte Frakturgefahr für die Feilen zu erwarten, da eine hohe Belastung auf den einzelnen Instrumenten liegt.

Um die Anwendbarkeit der Instrumente zu untersuchen, soll die vorliegende in-vitro Untersuchung durchgeführt werden.

2. Literaturübersicht

2.1. Ziele der Wurzelkanalaufbereitung

Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die vollständige Entfernung von vitalem und nekrotischem Pulpagewebe. Durch die mechanische Aufbereitung werden der Wurzelkanal und die Wurzelkanalwand von Mikroorganismen weitgehend befreit. Die Vergrößerung und Formgebung des Wurzelkanallumens soll die desinfizierende Wirkung von Spüllösungen erhöhen und die vollständige Obturation des Wurzelkanalsystems ermöglichen (Schilder, 1974; Peters, 2004).

Die Aufbereitung des Kanals soll bis zum Foramen physiologicum reichen, welches sich 0,5-2 mm koronal vom röntgenologischen Apex befindet. Diese apikale anatomische Konstriktion soll erhalten bleiben, um ein Überfüllen des Wurzelkanals zu vermeiden und den Kontakt zwischen Füllmaterial und Desmodont so gering wie möglich zu halten (Nehammer und Stock, 1985; Wu et al., 2000).

Des weiteren soll der Kanal zu einer konischen Form präpariert werden, wobei sich der kleinste Durchmesser des Kanals an der apikalen Konstriktion und der größte Durchmesser am koronalen Ende des Kanals befinden soll (Schilder & Yee, 1984).

Die endgültige Form des aufbereiteten Kanals ist durch seine ursprüngliche Form vorgegeben. Dies bedeutet, dass die ursprüngliche Kanalkrümmung bzw. die originäre Kanalgeometrie während der Aufbereitung beibehalten werden muss (Schilder, 1974).

2.2. Formgebungsfehler bei der Wurzelkanalaufbereitung

Das Problem bei der Aufbereitung von gebogenen Wurzelkanälen, wie sie zu 100% im Molarenbereich vorkommen (Schäfer et al., 2002) ist, alle Kanalwände gleichmäßig und ausreichend zu säubern bzw. zu erweitern, ohne den Kanalverlauf zu verändern (Schäfer & Schlingemann, 2003; Schäfer & Vlassis, 2004; Song et al., 2004).

Untersuchungen haben gezeigt, dass wenig flexible Instrumente in einem gekrümmten Wurzelkanal an drei Stellen bevorzugt Material entfernen: im unteren Kanaldrittel an der Außenwand der Kanalkrümmung (äußere Krümmung), im mittleren Kanaldrittel an der Innenwand der Krümmung (innere Krümmung) und im oberen Kanaldrittel wieder an der Außenwand der Kanalkrümmung (Luiten et al., 1995;

Sonntag et al., 2003; Yun et al., 2003; Calberson et al.; 2004). Man spricht hierbei von einer Begradigung des Kanals (Esposito & Cunningham, 1995; Glosson et al., 1995; Short et al., 1997). Diese Begradigung gekrümmter Wurzelkanäle ist eine der häufigsten Komplikationen im Rahmen der endodontischen Behandlung (Pettiette et al., 1999).

Kommt es zu einem verstärkten Materialabtrag, können der Verlust der Arbeitslänge, Perforation des Wurzelkanals, die Entstehung einer Trichter-(Zip) (Abb.2) oder Sanduhrform (Elbow) (Abb.1) in Apexnähe oder die Bildung einer Stufe (Ledge) (Abb.3) (Peters, 2004) die Folgen sein. Solche Kanalformen erschweren ein effizientes dichtes Füllen oder machen es gar unmöglich (Royal et Donnelly, 1995).

Werden durch den ungleichmäßigen Abtrag des zirkumpulpalen Wurzeldentins nicht alle mit Mikroorganismen besiedelten Dentinbereiche erfasst, wird der Erfolg in Frage gestellt, da unter Umständen nekrotisches bzw. infiziertes Gewebe im Kanal zurück bleibt (Braun et al., 2003).



Abb.1: Bei Aufbereitung eines Kanals entstandene Sanduhrform (Elbow)



Abb.2: Bei Aufbereitung eines Kanals entstandene Trichterform (Zip)

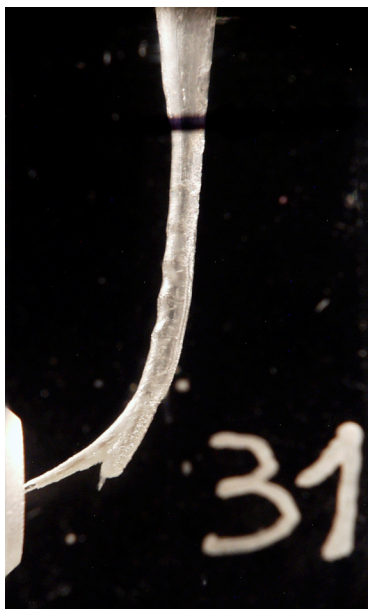


Abb.3: Bei Aufbereitung eines Kanals entstandene Stufe (Ledge).



Abb.4: Ein korrekt aufbereiteter Kanal mit konischem Verlauf als Voraussetzung ,um den Kanal dicht abfüllen zu können.

2.3. Techniken der Wurzelkanalaufbereitung

2.3.1. Manuelle Aufbereitungstechniken

In der Literatur finden sich zahlreiche unterschiedliche Techniken zur manuellen Aufbereitung von Wurzelkanälen. Hauptsächlich unterscheidet man zwischen den apikal-koronalen, zu denen auch die „Standardisierte Technik“ gehört, und den koronal-apikalen Techniken.

Kennzeichnend für die apikal-koronalen Techniken wird nach der initialen Bestimmung und Festlegung der Arbeitslänge mit der Aufbereitung des apikalen Wurzelkanaldrittels begonnen (Gulabivala & Stock, 1995; Schäfer, 1998).

Kennzeichnend für die koronal-apikalen Techniken wird zunächst das koronale Wurzelkanaldrittel erweitert und gereinigt. Erst danach erfolgt die Bestimmung und Festlegung der Arbeitslänge, bevor dann mit der Aufbereitung des apikalen Kanaldrittels begonnen wird (Gulabivala & Stock, 1995; Schäfer, 1998).

Die einzelnen Techniken unterscheiden sich oftmals nur in Details, ohne dass die klinische Bedeutung dieser feinen Unterschiede in allen Fällen nachgewiesen werden konnte. Zur Übersicht sollen daher in folgender Tabelle die wichtigsten Techniken kurz dargestellt werden:

Apikal-koronale Techniken	Koronale-apikale Techniken
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Standardisierte Technik:</u> <p>Bei der „Standardisierten Technik“, die 1961 von <i>Ingle</i> entwickelt wurde, werden alle Aufbereitungsinstrumente während der gesamten Präparation des Wurzelkanals auf der zuvor ermittelten Arbeitslänge eingebracht und in aufsteigenden Instrumentengrößen eingesetzt.</p> <p>Vorteil: Bei dieser Methode wird ein runder Querschnitt des aufbereiteten Kanals angestrebt, der eine direkte Aufnahme eines genormten</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Step-down Technik:</u> <p>Bei der von <i>Goering</i> und Mitarbeitern (1982) entwickelten Technik zur Aufbereitung von gekrümmten Kanälen wird zuerst ein weitläufiger Zugangsweg präpariert, der bis zum apikalen Kanaldrittel reicht. Dann wird der apikale Kanalabschnitt auf voller Arbeitslänge mit Instrumenten aufsteigender Größe bis zum gewünschten Kanaldurchmesser erweitert.</p> <p>Im Sinne der „Step-back Technik“ wird der Kanal unter schrittweiser Verkürzung</p>

Apikal-koronale Techniken	Koronale-apikale Techniken
<p>Guttaperchapoints vorsieht.</p> <p>Nachteil: Schon bei leicht gebogenen Kanälen besteht die Gefahr der Stufenbildung oder der Abweichung vom ursprünglichen Kanal im apikalen Drittel und im schlimmsten Fall der Perforation.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Step-back-Technik:</u> <p>Die von <i>Clem</i> (1969) eingeführte Technik stellt eine Weiterentwicklung der „Standardisierten Technik“ dar. Zunächst wird der Kanal wie gewohnt auf voller Arbeitslänge um mehrere ISO-Größen erweitert. Anschließend erfolgt die Präparation des Kanals unter schrittweiser Verkürzung der Arbeitslänge, welche bei geraden Kanälen 0,5 mm und bei gekrümmten Kanälen 1 mm pro Instrumentengröße beträgt.</p> <p>Vorteil: Dadurch erhält man deutlich ausgeprägte Konizitäten, die das Einbringen von Füllmaterial in den Kanal erleichtern.</p> <p>Nachteil: Auch hier besteht schon bei leicht gebogenen Kanälen die Gefahr der Stufenbildung oder der Abweichung vom ursprünglichen Kanal im apikalen Drittel.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Balanced-force Technik:</u> <p>Die von <i>Roane</i> und Mitarbeitern (1985) für die Aufbereitung gekrümmter Kanäle vorgeschlagene Technik erfolgt mit Hilfe speziell konstruierter flexibler</p>	<p>der Arbeitslänge weiter konisch aufbereitet.</p> <p>Vorteil: Frühe Ausräumung des koronalen Wurzelkanals ermöglicht eine bessere Penetration von Spüllösungen, wodurch eine Verstopfung des Wurzelkanals weniger wahrscheinlich wird.</p> <p>Nachteil: Besonders bei engen, gekrümmten Kanälen kann es zu Abweichungen der Kanalgeometrie, wie Begradigung, elbow-zip-Effekt etc. kommen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Double-flared Technik:</u> <p>Die von <i>Fava</i> (1983) vorgeschlagene Technik kann als modifizierte „Step-down Technik“ bezeichnet werden. Auch hier erfolgt zunächst die Präparation eines Zugangsweges bis zum Beginn des apikalen Kanaldrittels. Anders als bei der „Step-down Technik“ wird dann aber mit Instrumenten absteigender ISO-Größe weiter von koronal nach apikal erweitert bis die volle Arbeitslänge mit einem kleinen Instrument erreicht wird. Erst dann wird der apikale Kanalabschnitt auf voller Arbeitslänge mit ansteigenden Instrumentengrößen bis zum erwünschten Kanaldurchmesser erweitert. Abschließend erfolgt wieder die konische Aufbereitung im Sinne der „Step-back Technik“.</p> <p>Vorteil: Der Wurzelkanal wird sehr gut gereinigt, die Verlagerung von</p>

Apikal-koronale Techniken	Koronale-apikale Techniken
<p>Aufbereitungsinstrumente mit nichtschneidenden, kuppenartigen Spitzen.</p> <p>Die Feilen werden in nicht vorgebogenem Zustand unter leichten Rotationen in den Kanal eingeführt, bis ein leichter Widerstand gespürt wird. Dann werden sie mit leichtem, nach apikalwärts gerichteten Druck um 90° im Uhrzeigersinn gedreht. Unter Aufrechterhaltung des Druckes erfolgt eine Gegenrotation um 270°, bevor die Feilen unter Drehung im Uhrzeigersinn aus dem Kanal entfernt werden. Nach Erreichen der Arbeitslänge wird der Kanal mit aufsteigenden Instrumentengrößen bis zum angestrebten Kanaldurchmesser erweitert und dann im Sinne der „Step-back Technik“ weiter konisch aufbereitet.</p> <p>Vorteil: Relativ sichere Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle ohne Veränderung des Kanalverlaufs.</p> <p>Nachteil: Die Frakturgefahr der Instrumente ist erhöht, Methode ist nur etwas für erfahrene Behandler mit dem nötigen Fingerspitzengefühl.</p>	<p>abgetragenen Material nach apikal kann minimiert werden.</p> <p>Nachteil: Weite Kanäle und solche mit weit offenem Foramen sind für die Methode nicht geeignet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Crown-down-pressureless Technik:</u> <p>Die von <i>Morgan</i> und <i>Montgomery</i> 1984 eingeführte Technik gehört den Präparationstechniken an, bei denen der Wurzelkanal ausschließlich in koronal-apikaler Richtung aufbereitet wird. Begonnen wird üblicherweise mit einem Instrument der ISO-Größe 35, welches möglichst tief, bis auf Friktion mit der Kanalwand in den Kanal eingebracht wird und dann ohne Druck nach apikal angewendet wird. Die weitere Präparation erfolgt in gleicher Weise mit Instrumenten immer kleinerer ISO-Größe, wobei die Eindringtiefe schrittweise vergrößert wird, bis die zuvor ermittelte Arbeitslänge erreicht wird. Ausgehend von Instrumenten zunehmender Größe (40, 45, 50) werden die Arbeitsgänge wiederholt, sodass nach jedem Arbeitszyklus die Arbeitslänge mit einem größeren Instrument erreicht wird. Die Präparation wird solange wiederholt, bis die apikale Region zur angestrebten ISO-Größe erweitert wurde.</p> <p>Mit dieser Methode kann die ursprüngliche Lage des Kanals relativ</p>

Apikal-koronale Techniken	Koronale-apikale Techniken
	<p>genau eingehalten werden und sie eignet sich zur Aufbereitung von gekrümmten Kanälen.</p> <p>Vorteil: Die ursprüngliche Lage des Kanals kann relativ genau festgehalten werden. Die Methode eignet sich besonders zur Aufbereitung von gekrümmten Kanälen.</p> <p>Nachteil: Reinigung des Kanals ist nicht so effizient wie bei Methoden, die mit feilenden Bewegungen arbeiten.</p>

2.3.2. Maschinelle Aufbereitung mit rotierenden Ni-Ti Feilen

Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit vollrotierenden NiTi-Feilen ist zu einem festen Bestandteil des endodontischen Behandlungsrepertoires geworden und gewinnt weiterhin an Bedeutung (Parashos & Messer, 2004).

In zahlreichen Untersuchungen stellte sich besonders bei der Aufbereitung von stark gekrümmten Kanälen heraus, dass NiTi-Feilen den Edelstahl-Handinstrumenten überlegen sind. Dabei ermöglichen die hochflexiblen NiTi-Feilen nicht nur qualitativ besser aufbereitete Kanäle (Garip et al., 2001; Gulski et al., 2001; Schäfer & Lohmann, 2002a, 2002b), sie erleichtern auch den Arbeitsablauf und die Arbeitszeit wird verkürzt (Glosson et al., 1995).

Aus Gründen der Arbeitssicherheit wird bei der Anwendung von rotierenden Instrumenten die Anwendung von drehmomentkontrollierten Motoren empfohlen (Yared et al., 2001a, 2001b).

Bei der maschinellen Aufbereitung führen die Instrumente eine kontinuierliche 360° Rotation durch. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten liegen dabei je nach System zwischen 150 U/ min und 350 U/ min.

Bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Lightspeed System) ist allen NiTi-Systemen die Vorgehensweise der „Crown-down Technik“ gemeinsam, da dadurch die Friktion im Kanal und die daraus resultierende Belastung der Instrumente reduziert werden soll (Peters, 2004).

2.4. Nickel-Titan Legierung für Aufbereitungsinstrumente

Die Nickel-Titan-Legierung wurde bis in die 80'er Jahre als NiTiNOL, ein Akronym für Naval Ordnance Laboratories, bezeichnet. Sie wurde 1960 von W.F. Buehler für die US-Armee in Silver Springs, Maryland, USA entwickelt. Mitte der 70er Jahre wurde die Legierung dann zum ersten mal in Form von kieferorthopädischer Drähten in der Zahnmedizin eingesetzt (Andreasen & Morrow, 1978).

1988 wurden durch *Walia* und seine Mitarbeiter die ersten Wurzelkanal-Aufbereitungsinstrumente aus Nickel-Titan vorgestellt (Walia et al., 1988).

Die heute am Markt befindlichen Nickel-Titan-Instrumente bestehen zu etwa 55 m% (Massenprozent) aus Nickel und zu etwa 45 m% aus Titan, wodurch ein nahezu 1:1 Verhältnis der beiden Hauptkomponenten besteht (Thompson, 2000). Die Legierung zeichnet sich durch einen niedrigen Elastizitätsmodul aus, es beträgt 1/5 des Wertes für Chrom-Nickel-Stahl (Walia et al., 1988). Dadurch erhält sie einen pseudoelastischen Charakter, was bedeutet, dass die Feilen, wenn sie nicht mehr belastet werden, durch ihre innere Spannung zu ihrer Ursprungsform zurück kehren ohne Restdeformation (Lee et al., 1988). Diese Flexibilität, die vergleichsweise höher ist als bei anderen Instrumenten aus Chrom-Nickel-Stahl (Thompson, 2000), soll für die Aufbereitung von stark gekrümmten Kanälen besonders geeignet sein, da die bleibende Deformierung der Instrumente geringer ist als bei den traditionellen Legierungen (Schäfer, 1997).

Diese materialspezifische Eigenschaft ist auch der Grund dafür, warum die Feilen nicht durch Verdrillen sondern durch Schleifen aus einem Nickel-Titan-Rohling hergestellt werden, da sie sonst frakturieren würden (Schäfer, 1997). Durch den Schleifprozess entstehen jedoch kleine Oberflächenunregelmäßigkeiten und Ablagerungen von Metallrückständen, die die Schneideffizienz der Feilen an den Schneidekanten beeinträchtigen können (Thompson, 2000).

2.5. Frakturen von maschinellen NiTi-Feilen

Bei der Anwendung von rotierenden NiTi-Feilen wird zumeist ein gegenüber Edelmetallinstrumenten erhöhtes Frakturrisiko beschrieben (Dietz et al., 2000). Es können spontane Torsions- und Biegefrakturen auftreten, ohne vorherige äußerlich erkennbare Anzeichen (Kazemi et al., 1996; Haikel et al., 1998).

Die Biegefraktur ist auf „zyklische Ermüdung“ (cyclic fatigue) zurückzuführen (Sattapan et al., 2000; Peters et al., 2003). Diese Ermüdung des Materials tritt bei ständigem Wechsel zwischen Kompressions- und Dehnungsbelastung auf, dem eine rotierende NiTi-Feile in einem gekrümmten Wurzelkanal ausgesetzt ist. Bearbeitet eine Feile eine Krümmung, so wird die eine Feilenhälfte an der Innenseite der Krümmung einer Kompression, die andere Feilenhälfte an der Krümmungsaußenseite einer Dehnung ausgesetzt. Folglich durchläuft die Feile sowohl einen Kompressions- als auch einen Dehnungszyklus (Pruett et al., 1997; Haikel et al., 1999; Bergmanns et al., 2001).

Die Wahrscheinlichkeit einer Biegefraktur ist von zwei Größen besonders abhängig: dem Krümmungsradius eines Kanals und der ISO-Größe des verwendeten Instruments.

Je kleiner der Krümmungsradius eines Kanals, d.h. je enger die Krümmung, desto höher ist die Anzahl der auftretenden Frakturen (Pruett et al., 1997; Haikel et al., 1999). Vergleicht man Feilen gleicher Konizität aber unterschiedlichem Durchmesser, frakturieren die Feilen mit einem größeren Durchmesser tendenziell schneller (Haikel et al., 1999; Peters et al., 2001). Ursache für die erhöhte Frakturgefahr von Feilen mit größerem Durchmesser ist die vergrößerte Oberfläche der Feilen an der Stelle der stärksten Krümmung (Beer & Eggerath, 2004).

Des Weiteren zeigt sich, dass bei Feilen gleicher Größe, aber unterschiedlicher Konizität, die Feilen mit der höheren Konizität häufiger im gekrümmten Kanal frakturieren. Grund dafür ist die stärkere Anlagerung des Instruments an der Stelle der größten Krümmung im Kanal, somit werden die Zug- und Druckkräfte, die auf das Instrument wirken größer (Beer & Eggerath, 2004).

Um nun die durch „zyklische Ermüdung“ hervorgerufenen Biegefrakturrate gering zu halten, empfehlen *Pruett et al.*, Instrumente nur einmal in Kanälen mit großem Krümmungswinkel und kleinem –radius zu verwenden und sie danach zu verwerfen. Andere Autoren schlagen vor, Instrumente generell nach max. 5 Anwendungen zu entsorgen (Filho et al.; 1998; Bergmanns et al.; 2001).

Die Torsionsfraktur manifestiert sich bei plötzlich auftretender Überbelastung. Sie tritt auf, wenn sich der apikale Teil einer Ni-Ti-Feile in einem engen Kanal festklemmt und nicht mehr frei rotieren kann. Man spricht hierbei von dem „Taper-Lock“- Effekt. Der Torquewert, der auf das Instrument ausgeübt wird, steigt. Schließlich übersteigt er die Torsionsgrenze und führt so zu der Fraktur im Spitzenbereich der Feile (Sattapan et al., 2000; Peters et al., 2003).

Die Frakturen lassen sich allerdings durch Routine und Sorgfalt des Behandlers und durch die Anwendung eines drehmomentbegrenzten Mikromotors, dem Drehzahl und Drehmoment (Torque) für jedes Instrument vorgegeben wird, reduzieren (Gambarini, 2000; Merte, 2005).

Der Einsatz von NiTi-Instrumenten sollte immer ohne Druckanwendung und unter strikter Einhaltung der vom jeweiligen Hersteller angegebenen Umdrehungszahlen erfolgen. Die Wurzelkanäle sollten durch eine ausreichend große Zugangskavität geradlinig zugänglich sein, d.h. es dürfen keine Dentinüberhänge im Kanaleingangsbereich stehen gelassen werden (Schrader et al., 1999). Die Instrumente sollten nur kurz in den Kanal eingeführt und zügig wieder entfernt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Feilen immer rotieren.

Es hat sich als hilfreich erwiesen, pastenförmige Chelatoren zu verwenden, die zum einen ein reibungsärmeres Gleiten der Instrumente bewirken und zum anderen eine desinfizierende Wirkung besitzen (Ruddle, 2002).

Ein gradliniger Zugang zu den Wurzelkanälen durch eine ausreichend große Zugangskavität soll gerade bei voll rotierenden Systemen Instrumentenbrüche vermeiden (Schrader et al., 1999).

Zusätzlich empfiehlt es sich, die Instrumente nach Gebrauch optisch zu kontrollieren, um Deformationen wie Aufwindungen zu erkennen und die Feilen rechtzeitig auswechseln zu können (Baumann & Roth, 1999).

2.6. Maschinelle Aufbereitungssysteme aus Nickel-Titan

2.6.1. ProTaper – Feilen der Fa. Maillefer

Die ProTaper-Feilen sind von den Endodontologen Prof. Pierre Machtou, Dr. Clifford Ruddle und Prof. John West in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren der Firma Maillefer entwickelt worden.

Ein Set dieses Systems besteht aus sechs Feilen (SX, S1 und S2, F1-F3). Die Instrumente weisen im Verlauf ihres Arbeitsteils variierende Konizitäten auf. Dieses Konstruktionsmerkmal erlaubt bei Anwendung in der Crown-down-Technik ein rasches Eindringen und einen schnellen Tiefengewinn (Bauman, 2001). Bedingt durch die wechselnde Konizität variiert auch der Tangentenwinkel innerhalb eines Instruments. Dabei nimmt die Größe und Weite des Spanraumes von der Spitze bis zum Schaft hin weiter zu, was in einer effektiveren Entfernung der Dentinspäne und des Debris aus dem Kanal heraus resultiert (Clauder, 2003). Die Feilen weisen einen dreieckigen Querschnitt mit konvexen Flanken (Abb.5) auf, wobei die Keilwinkel der Schneiden $> 90^\circ$ aufweisen, was einen effektiven Dentinabtrag ermöglicht (Baumann, 2001).

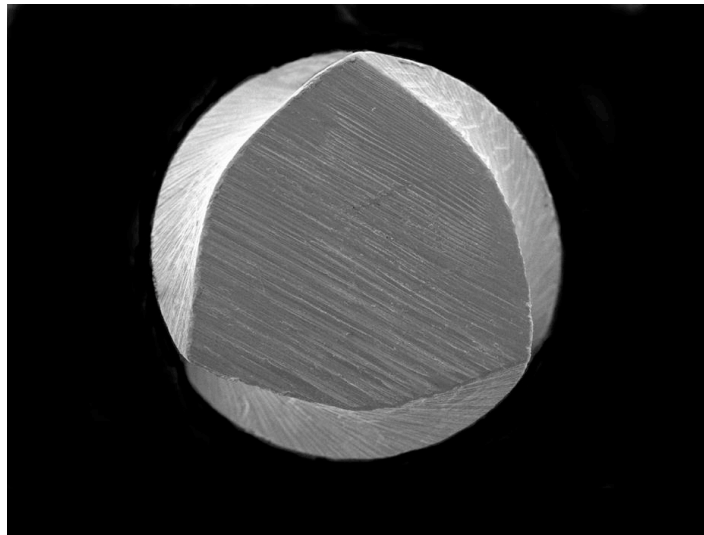


Abb.5: ProTaper Feile im Querschnitt. Die Feile weist einen konvexen Dreiecksquerschnitt auf, wobei die Schneiden aktiv sind. Dies ermöglicht einen effektiven Dentinabtrag.

Aus diesem Grund sollten die Instrumente nur passiv angewendet werden, ohne apikalen und lateralen Druck (Blum et al., 2003), und nicht länger als unbedingt erforderlich mit Kontakt zur Kanalwand rotiert werden (Clauder, 2003), da es sehr schnell zu einer Transportation des Kanalverlaufes kommen kann (Peters et al., 2003).

Die nicht schneidende Spitze der Instrumente ist als Pilotspitze geformt und abgerundet, wobei die Schneiden bis annähernd zur Spitze verlaufen (Baumann, 2001).

Für die initiale Instrumentierung in der Crown-down-Technik sind die drei Shaping-Feilen (SX, S1 und S2) vorgesehen. Die weitere Bearbeitung und Formgebung des Kanals soll dann mit den Finishing-Feilen (F1-F3) durchgeführt werden.

Die SX-Feile weist neun verschiedene Konizitäten (3,5-19 %) auf. Das Instrument dient der Ausformung der koronalen Abschnitte der Wurzelkanäle. Es wird in einer streichenden Art eingesetzt (Blum et al., 2003).

Die S1-Feile weist elf verschiedene Konizitäten von 2-11% und die S2-Feile insgesamt neun von 4-11%.

S1 dient hauptsächlich zur Bearbeitung des koronalen Drittels des Wurzelkanals. S2 hingegen bereitet vorwiegend das mittlere Drittel auf (Clauder, 2003).

Die Finishing-Feilen F1, F2 und F3 weisen alle eine umgekehrte Konizitätenfolge (reverse taper) auf. Dies bedeutet, dass die unteren drei Millimeter bis D3 eine höhere und jeweils unterschiedliche Konizität (F1 7%; F2 8%; F3 9%) im Vergleich zu den restlichen Bereichen der Schneide bis D14 mit 5,5% bei F1 und F2 und 5% bei F3 haben. Diese geringer werdende Konizität soll vor allem dazu dienen, die Flexibilität der Instrumente nicht zu stark zu reduzieren. Die drei Feilen sind für die ideale Aufbereitung des apikalen Drittels entwickelt worden, geben aber auch dem mittleren Drittel das endgültige Shape (Clauder, 2003).

Ist eine größere Aufbereitung als ISO 30 an der Wurzelspitze nötig, so muss auf andere Systeme, die auch größere apikale Durchmesser haben, zurückgegriffen werden (Clauder, 2003).

2.6.2. K3 – Feilen der Fa. SybronEndo

Die Feilen des K3 Systems der Firma SybronEndo zeichnen sich durch drei asymmetrisch angeordneten Schneidekanten aus (Abb.6). Der negative Spanwinkel (Chow et al., 2005) sorgt dafür, dass die Instrumente schaben und nicht schneiden (Sonntag, 2003). Die Feilen weisen zwei breite radiale Fasen (radial lands) auf, die mit sogenannten „Entlastungen“ versehen sind. Diese Entlastungszonen sollen die Reibung an der Kanalwand reduzieren und die Frakturgefahr herabsetzen (Schäfer & Florek, 2003).

Eine dritte radiale Fase soll das Instrument stabilisieren und es im Kanallumen zentrieren. Zusätzlich soll es ein zu starkes Eindrehen in den Kanal verhindern.

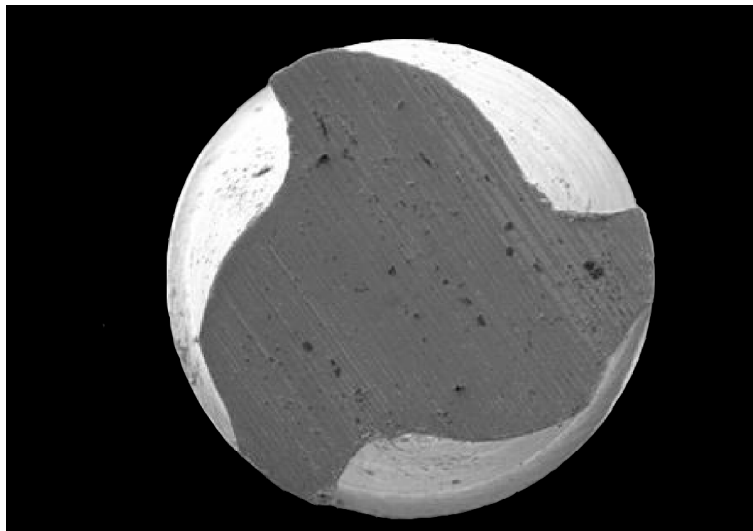


Abb.6: Querschnitt einer K3-Feile. Die Feile weist drei radiale Fasen auf, wobei zwei dieser Fasen mit sogenannten „Entlastungen“ versehen sind. Die Feilen besitzen einen negativen Spanwinkel.

Die Instrumentenspitzen sind nichtschneidend und abgerundet (Merte, 2005).

Der Steigungswinkel der Gewindegänge nimmt von der Instrumentenspitze zum Schaft hin zu. Der variable Gewinde-Steigungswinkel und der variable Kerndurchmesser können eine bessere Entfernung der Dentinspäne und Debris begünstigen (Bergmans et al., 2003).

Die Feilen sind in den ISO Größen 15-60 mit den Konizitäten 4% und 6% und den Längen 21 mm, 25 mm und 30 mm erhältlich, wobei die Arbeitslänge 16 mm beträgt. Zusätzlich werden zur initialen Eröffnung und Darstellung der Kanaleingänge zwei Instrumente der ISO Größe 25 mit Konizitäten von 10% und 8% angeboten, die eine Arbeitslänge von 10 mm aufweisen.

Vom Hersteller werden unterschiedliche Sequenzen für unterschiedliche Wurzelkanalmorphologien empfohlen. Allen gemein ist die anzuwendende Crown-down Technik. Für die meisten Kanäle wird folgende Sequenz empfohlen:

Zunächst erfolgt die Anwendung der Zugangserweiterer. Die Bearbeitung des Kanaleingangs und der oberen Kanalwände erfolgt in zirkulär feilenden Bewegungen. Danach wird die definitive Arbeitslänge bestimmt. Zunächst sollen dann die Feilen mit der Konizität von 6% in absteigender Größe unter leichtem Druck verwendet werden. Jedes Instrument sollte nicht länger als 6 sec rotierend im Kanal verweilen. Es empfiehlt sich, mit der ISO Größe 35 zu starten, dann 30, 25, 20 und zum Ende hin 15, die auf volle Arbeitslänge eingebracht wird. Die Sequenz wird so lange wiederholt, bis die Feile der ISO Größe 20 die volle Arbeitslänge erreicht.

Bei feinen und langen Kanälen empfiehlt der Hersteller zwei ISO Größen mit unterschiedlicher Konizität aufeinanderfolgend zu verwenden, z.B. beginnend mit Feile 30/.06, danach Feile 30/.04, dann Feile 25/.06 und Feile 25/.04 usw.

2.6.3. Mtwo – Feilen der Fa. VDW

Die von Prof. Malagnino (Italien) entwickelten und 2003 auf den Markt gebrachten Mtwo-Feilen zeichnen sich durch ihren S-förmigen Querschnitt aus (Abb.7). Sie besitzen zwei tief ausgeprägte, aktive Schneiden, die durch einen minimalen radialen Wandkontakt und einen dadurch resultierenden maximalen Spanraum laut Herstellerangaben eine sichere und schnelle Aufbereitung ermöglichen sollen.

Der Schneidenabstand der Feilen ist progressiv: Er vergrößert sich von der Feilenspitze bis zum Schaft hin (Foschi et al., 2004). Dies soll am Schneiderücken tieferen Raum für den Dentinabtrag geben, das Risiko des Verklemmens einer Feile im Kanal soll reduziert und die mögliche Anhäufung von Dentinspänen soll auf ein Minimum gebracht werden (Veltri et al., 2005).

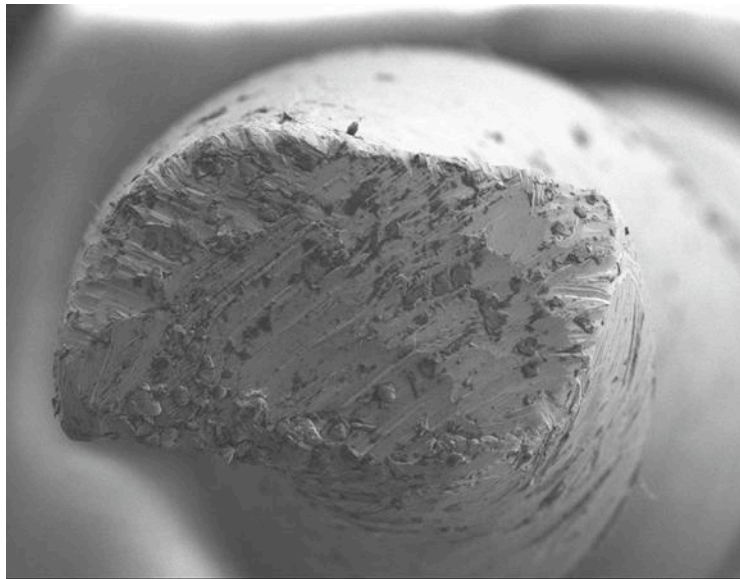


Abb.7: Mtwo-Feile im Querschnitt. Die Feile zeichnet sich durch einen S-förmigen Querschnitt aus und besitzt zwei tief ausgeprägte, aktive Schneiden.

Wie auch ProTaper und K3 verfügen die Mtwo-Feilen über eine nicht schneidende Arbeitsspitze.

Das System greift auf die „Standardisierte Technik“ im Sinne der sogenannten „Single-length-Technik“ zurück (Sonntag, 2005). Hierbei wird bereits mit dem ersten Instrument der Kanal in seiner gesamten Arbeitslänge instrumentiert und anschließend auf der selben Länge erweitert. Auf bekannte Aufbereitungs-Systematiken wie crown-down oder step-back wird vollständig verzichtet.

Die Feilen sind in den Längen 21 mm, 25 mm und 31 mm zu erhalten, wobei der Arbeitsteil 16 mm oder 21 mm betragen kann.

Je nach Durchmesser der Kanäle wird eine unterschiedliche Sequenz empfohlen: Bei engen Kanälen wird mit der ISO Größe 10/.04 begonnen. Es folgen die Feilen der Größen 15/.05, 20/.06 und als apikale Masterfeile dient die ISO-Größe 25/.06.

Bei weiten Kanälen wird mit der Feilen-Größe 30/.05 begonnen, es folgen 35/.04, 40/.04 und als letztes 25/.07.

Die Feilen mit den 21 mm langen Arbeitsteilen sind nur in der Sequenz für enge Kanäle anwendbar.

Obwohl in der offiziellen Arbeitsanweisung des Herstellers nicht erwähnt, bietet sich die Kanaleingangsdarstellung vor Beginn der Kanalaufbereitung mittels Gates-Glidden-Bohrern (VDW, München) oder der Intro File (VDW, München) an. Vor

Anwendung sollte, wie bei allen rotierenden Aufbereitungssystemen, unbedingt ein Gleitpfad der Größe ISO 15 mit Handinstrumenten geschaffen werden.

2.7. Studienmodelle und Auswertungen

2.7.1. Einsatz von Studienmodellen

Es hat sich gezeigt, dass die Aufbereitung gekrümmter Kanäle einer der wichtigsten Parameter für die Beurteilung der klinischen Tauglichkeit von Wurzelkanal-Aufbereitungsinstrumenten darstellt (Tepel et al., 1997).

Für eine vergleichende Studie ist das Vorliegen standardisierter Versuchsbedingungen eine Voraussetzung. Hierbei sollten sowohl die zu untersuchenden Aufbereitungsinstrumente, als auch die verwendeten Probekörper über definierte und reproduzierbare Eigenschaften verfügen (Dummer et al., 1991).

Für die Evaluation der Aufbereitung von Wurzelkanälen werden in den verschiedenen Untersuchungen zwei unterschiedliche Arten von Prüfkörpern verwendet: Entweder dienen natürliche Zähne als Prüfkörper (Luiten et al., 1995; Bergmans et al., 2003; Iqbal et al., 2004; Beer et al., 2005) oder es werden artifizielle Wurzelkanäle in Kunststoffblöckchen als Prüfkörper verwendet (Dummer et al., 1991; Pertot et al., 1995; Griffith et al., 2000; Ayar & Love, 2004).

Prüfkörper aus biologischem Material, wie menschliche Zähne, können aufgrund unterschiedlicher Mineralisation erhebliche Inhomogenitäten bezüglich ihrer Abriebeigenschaften aufweisen (Tepel et al., 1993; Kazemi et al., 1996; Hülsmann et al., 2003). Hinzu kommt, dass sich natürliche Zähne sehr stark in ihrer Wurzelkanalgeometrie und Dentinhärte unterscheiden. Dies erschwert bei Vergleichsstudien die Interpretation der Ergebnisse, da eine sichere Aussage, ob beobachtete Unterschiede auf die Aufbereitungsinstrumente selbst oder die Prüfkörper zurück zu führen sind, nicht gemacht werden kann (Tepel, 2000).

Dennoch werden auch vergleichende Studien an natürlichen Zähnen durchgeführt. Um auftretende Formveränderungen festzustellen, gibt es eine Reihe von Methoden für die Untersuchungen von Wurzelkanälen. Die Untersuchung mittels μ CT ist sehr aufschlussreich und genau, jedoch sehr teuer und zeitintensiv (Peters et al., 2001; Bergmans et al., 2003).

Die Methode nach Bramante (Bramante et al., 1987) ist die Teilung der Zähne in mehrere Querschnitte, die vor und nach der Aufbereitung fotografiert werden. Allerdings bestehen hierbei Probleme bei der exakten Wiederausammensetzung der einzelnen Elemente (Iqbal et al., 2004).

In Untersuchungen werden die Zähne vor und nach der Aufbereitung geröntgt und die Bilder anschließend überlagert, um den Kanalverlauf zu beurteilen (Luiten et al., 1995; Braun et al., 2003; Hülsmann et al., 2003; Iqbal et al., 2004;).

Eine weit verbreitete und anerkannte Methode ist die Verwendung von artifiziellen Kanälen in Kunststoffblöckchen (Pertot et al., 1995). Sie bieten den Vorteil der Reproduzierbarkeit und Standardisierung der Kanalgeometrie, des Krümmungsradius und Durchmessers sowie der Abriebeigenschaften, was einen direkten Vergleich der Versuchsergebnisse möglich macht (Weine et al., 1975, Pertot et al., 1995; Hülsmann et al., 2003).

2.7.2. Auswertung von Aufbereitungsergebnissen

Aufbereitungsbedingte Formveränderungen artifizieller Wurzelkanäle in den durchsichtigen Kunststoffblöckchen werden heute zumeist mittels digitalfotografischer Erfassung der Kanäle vor und nach der Aufbereitung dargestellt. Die dabei entstandenen Bilder werden anhand von Bildbearbeitungsprogrammen überlagert, so dass die Kanäle vermessen und die Materialabträge quantifiziert werden können (Baumann & Roth, 1999; Griffiths et al., 2000; Ayar & Love, 2004; Calberson et al., 2004).

Bei Verwendung humaner Zähne erfolgen die Auswertungen zumeist anhand von Röntgenbildern, die vor und nach der Aufbereitung erstellt werden. Um die Kanäle sicher darstellen zu können, werden Silberstifte (Braun et al., 2003) oder Instrumente (Hülsmann et al., 2003; Iqbal et al., 2004;) in die Kanäle eingeführt. Die Quantifizierung der Materialabträge erfolgt analog zu dem Verfahren, wie es bei den artifiziellen Kanälen beschrieben wurde. Indem die Röntgenbilder in einen PC eingelesen werden, können sie mittels Bildbearbeitungsprogrammen überlagert und ausgewertet werden (Luiten et al., 1995; Braun et al., 2003; Iqbal et al., 2004)

2.7.3. Statistische Verfahren

Zur statistischen Datenanalyse kommen vielfach Softwarepakete wie das SPSS® (Statistical Package for the Social Sciences; SPSS® Inc., Chicago, USA) zum Einsatz (Backmann et al., 1992; Baumann & Roth, 1999; Beer & Eggerath, 2004).

Damit ist es sowohl möglich deskriptive Statistiken wie z.B. die Häufigkeitsverteilung eines Formgebungsfehlers zu beschreiben, als auch analytisch zu untersuchen, ob Mittelwertunterschiede oder differierende Medianwerte zwischen Gruppen zufällig auftreten (Bühl & Zöfel, 2000).

Bei intervallskalierten Werten spielt es in der Statistik eine entscheidende Rolle, ob die Werte einer Normalverteilung folgen oder nicht. Danach richtet sich, welche statistischen Kennwerte (Mittelwert oder Medianwert) zu ihrer Beschreibung verwendet werden können (Zöfel, 2001). Die Verteilung kann optisch mit Hilfe eines Histogramms oder Anhand von Kennwerten überprüft werden, die z.B. mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test die Irrtumswahrscheinlichkeit für eine Gaußsche Verteilung angeben.

Üblicherweise werden Aussagen, die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von $\leq 0,05$ behaftet sind, als statistisch signifikant bezeichnet (Bühl & Zöfel, 2000).

Liegt keine Normalverteilung vor, kann die weitere Auswertung mit dem nichtparametrischen U-Test nach Mann und Whitney erfolgen. Der parametrische T-Test wird angewendet, wenn eine Normalverteilung vorliegt (Zöfel, 2001).

Bei Auswertung der nominal bzw. ordinal skalierten Werte wird der Chi-Quadrat-Test angewendet. Bei dieser tabellaren Darstellung können zugleich die beobachteten und die erwarteten Häufigkeiten für ein Merkmal ausgezählt werden. Ein signifikanter Unterschied zwischen beobachteter und erwarteter Häufigkeit liegt dann vor, wenn das errechnete standardisierte Residuum einen Wert ≥ 2 hat (Bühl & Zöfel, 2000).

3. Zielsetzung und Arbeitshypothesen

In-vitro sollen drei rotierende Nickel-Titan Aufbereitungssysteme (K3-System, Mtwo-System, ProTaper-System) bezüglich ihres Formgebungsverhaltens bei der Bearbeitung von gekrümmten artifiziellen und humanen Wurzelkanälen untersucht werden.

Hierzu sollen 150 standardisierte, gekrümmte, artifizielle Wurzelkanäle in Epoxidharzblöckchen und 30 mesiale Wurzeln mit jeweils zwei Kanälen humaner Unterkiefermolaren in jeweils drei Gruppen zufällig eingeteilt werden. Sie sollen dann mit dem jeweiligem Feilensystem bis zur Instrumentengröße ISO 35 aufbereitet werden. Dies soll bei den Systemen K3 und ProTaper mit der „Crown-down-Technik“ und bei dem System Mtwo mit der „Single-length-Technik“ erfolgen. Abschließend soll ein Masterpoint entsprechender Größe in den Kanal eingeführt werden.

Die Aufbereitungen sollen mit Erfassung der jeweiligen Aufbereitungszeiten vorgenommen werden.

Zur Erstellung von Überlagerungsbildern sollen die Epoxidharzblöckchen vor und nach ihrer Aufbereitung digital fotografiert und die humanen Zähne vor und nach der Aufbereitung mittels digitalem Röntgen befundet werden.

Die Untersuchung der aufzubereitenden artifiziellen Kanäle soll wie folgt ablaufen:

- Es soll mit Hilfe elektronischer Bildbearbeitung eine morphologische Beurteilung des aufbereiteten artifiziellen Kanals erfolgen. Dabei soll der Wurzelkanal auf typische Formgebungsfehler (Elbow, Zip, Ledge) untersucht werden.
- Es soll unter einem Auflichtmikroskop die Aufbereitungslänge des artifiziellen Wurzelkanals anhand des eingesetzten Masterpoints quantitativ bestimmt und das apikale Foramen zur Feststellung von Überinstrumentierung qualitativ untersucht werden.
- Es soll anhand elektronisch erzeugter Überlagerungsbilder der Materialabtrag in dem aufbereiteten Kanal gemessen werden.
- Es soll die Instrumentenfrakturhäufigkeit ermittelt werden.
- Es soll die durchschnittliche Bearbeitungszeit der jeweiligen Aufbereitungssysteme ermittelt werden.

Die Untersuchung der humanen aufzubereitenden Wurzelkanäle soll wie folgt durchgeführt werden:

- Es soll anhand von kalibrierten Röntgenbildern und den zuvor eingesetzten Masterpoints die Aufbereitungslänge quantitativ untersucht werden.
- Es soll mit Hilfe von elektronisch erzeugter Überlagerungsbilder die Materialabträge in dem aufbereiteten Kanal gemessen werden.
- Es soll die Häufigkeit von Instrumentenfrakturen ermittelt werden.
- Es soll die durchschnittlichen Bearbeitungszeit der jeweiligen Aufbereitungssysteme ermittelt werden.

Folgende Arbeitshypothesen sollen überprüft werden:

1. Bei der Anwendung der „Single-length-Technik“ mit dem System Mtwo frakturieren mehr Feilen als bei der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System.
2. Bei der Anwendung der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System entstehen weniger Aufbereitungsfehler (Transportation, Zip, Elbow, Ledge) als bei der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System.
3. Bei der Anwendung der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System werden mehr Kanäle überinstrumentiert als bei der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System.
4. Die Aufbereitung eines Kanals mit Mtwo sowie mit ProTaper nimmt weniger Zeit in Anspruch als die Aufbereitung mit K3.

4. Material und Methode

4.1. Artificielle Wurzelkanäle

4.1.1. Versuchdesign artificielle Wurzelkanäle

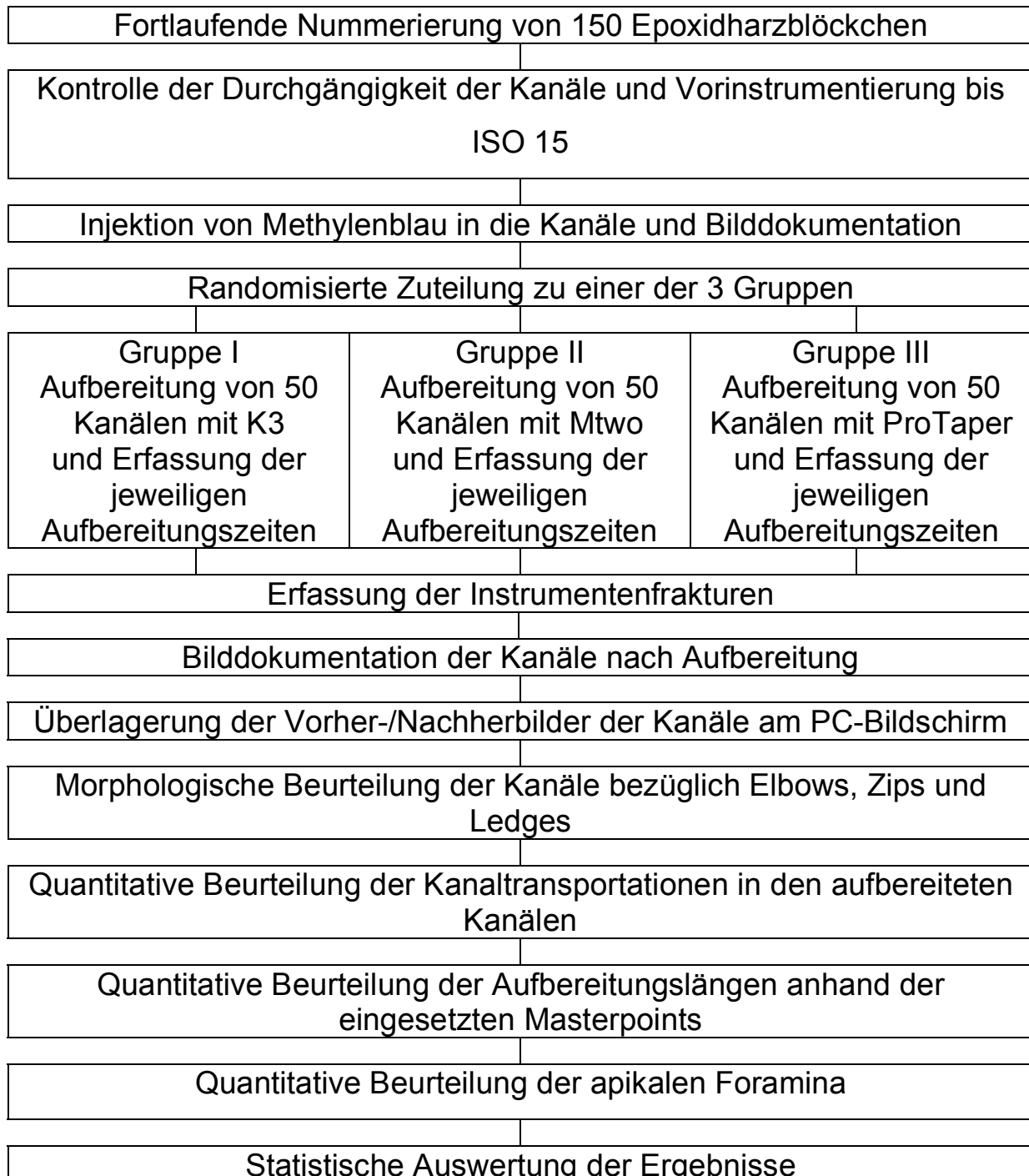


Abb.8: Versuchsplan artificielle Wurzelkanäle

4.1.2. Vorbehandlung der Prüfkörper

Die Untersuchung wird an 150 stark gekrümmten künstlichen Wurzelkanälen in Epoxidharz-Blöckchen¹⁶ vorgenommen. Die Kanäle der Blöckchen sind 19 mm lang, wobei der gerade koronale Anteil 10 mm und der gekrümmte apikale Anteil 9 mm messen. Der Kanaleingangsbereich ist bis zu einer Tiefe von 5 mm konisch erweitert. Die Kanäle weisen einen nach *Pruett* gemessenen Krümmungsradius von 5,5 mm (Pruett, 1997) und einen nach der Methode von *Schneider* (Schneider, 1971) gemessenen Winkel von 40° auf.

Alle Blöckchen werden auf ihre Durchgängigkeit geprüft und, angefangen mit ISO 06, auf ISO 15 mittels C-Pilot Feilen⁶ manuell vorinstrumentiert. Die Instrumente weisen eine 2%ige Konizität auf. Nach jeder Feile wird der Kanal mit 1 ml Wasser gespült.

Anschließend werden die Blöckchen mit einem Diamant-Bohrer⁷ fortlaufend von 1 bis 150 nummeriert und mit zwei Kreuzen auf der Frontseite links und rechts neben dem Kanaleingang gekennzeichnet. Die Ziffern werden lateral des Wurzelkanals im apikalen Drittel eingraviert und mit einem schwarzen wasserfesten Filzschreiber¹⁸ nachgezogen.

Die Kunststoffblöckchen werden danach per Zufallsgenerator³³ in drei Gruppen a 50 Blöckchen eingeteilt. Anschließend wird mit einer Injektionskanüle¹³ der Farbstofflösung Methyleneblau¹⁹ in den Wurzelkanal injiziert (Abb. 9).

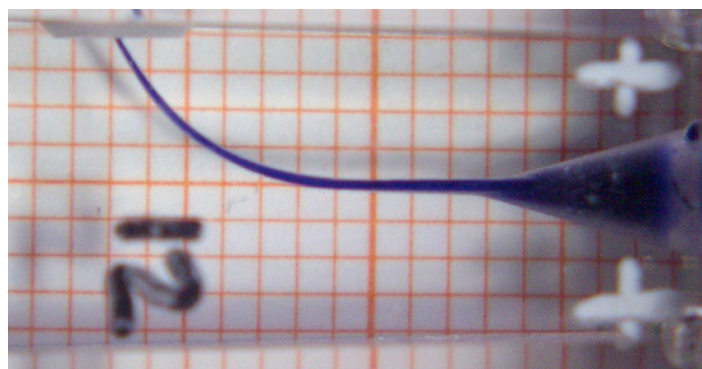


Abb.9: Artifizierter Wurzelkanal mit injizierter wässriger Methyleneblau-Lösung¹⁹

4.1.3. Bilddokumentation der Prüfkörper

Die Blöckchen werden mit einer Digitalkamera⁵ fotografiert. Damit der Abstand zwischen Kamera und Endoblöckchen für alle Aufnahmen konstant eingehalten werden kann, wird ein speziell hergestelltes Stativ²⁹ verwendet (Abb. 10). Auf dem Träger kann die Kamera festgeschraubt und das Blöckchen in eine Halterung eingespannt werden. Als Hintergrund wird Millimeterpapier²⁰ verwendet.

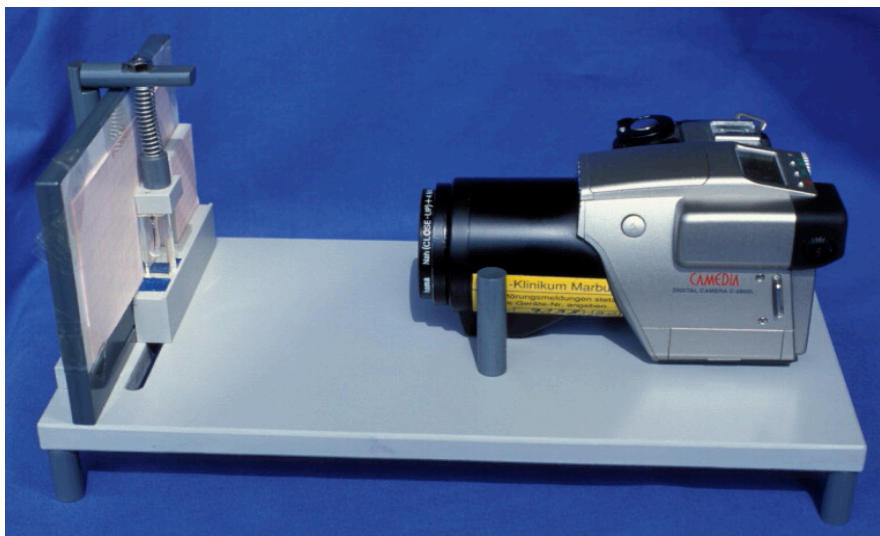


Abb.10: Stativ²⁹ zur Fixierung der artifiziellen Wurzelkanäle (links im Bild) in Reproduzierbarer Position

Als Einstellung der Kamera wird der Makromodus und automatische Belichtungszeit ausgewählt und zwei Vorsatzlinsen³² von insgesamt 7 Dioptrien vor das Objektiv geschraubt.

Das Bild wird auf Kanalebene fokussiert und die Aufnahmen auf einer Chip-Karte gespeichert. Mittels eines Kartenlesers¹⁴ werden die Daten in den Computer² übertragen und im jpg. Format gespeichert.

Nach dem Fotografieren werden die Kanäle sofort mit 4 ml Wasser gereinigt und die Methylblau-Lösung vollständig entfernt.

4.1.4. Versuchsablauf

Für die Aufbereitung der Kanäle wird eine handelsübliche Filmdose so vorbereitet, dass sie ein Prüf-Blöckchen aufnehmen kann und der Kanal nicht einsehbar ist. Dafür wird A-Silikon-Abformmaterial²⁶ im Verhältnis 1:1 manuell angemischt und in die Dose eingebracht und ein Endoblöckchen hinein gedrückt. Die Überschüsse werden entfernt. Die Dose wird daraufhin verschlossen. Nach dem Aushärten des Silikons wird das Prüf-Blöckchen entfernt. Es wird sowohl zentral in den Deckel als auch im Bereich des apikalen Foramens in der Filmdose eine Öffnung gebohrt (Abb. 11). Die Durchgängigkeit wird überprüft, indem die Spülung des Kanals über die zentrale Öffnung des Deckels erfolgt und die Spülflüssigkeit an der lateralen Bohrung austritt.

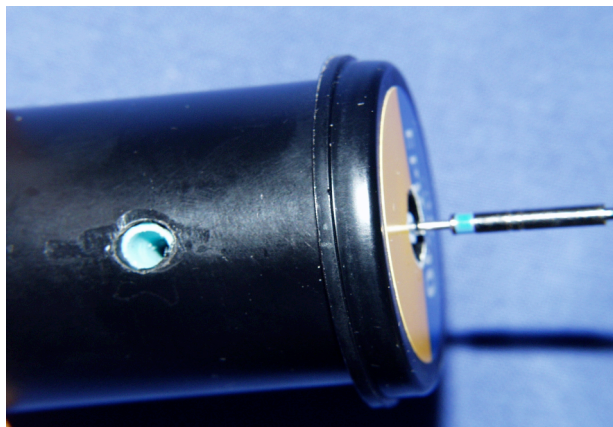


Abb.11: Präparierte Filmdose mit zentraler und lateraler Perforation



Abb.12 Endoblöckchen mit Instrument in präparierter Filmdose im Querschnitt

Für die maschinelle Aufbereitung der Kanäle werden NiTi-Feilen verwendet. Gruppe I wird mit K3¹⁵ Feilen, Gruppe II mit Mtwo²¹ Feilen und Gruppe III mit ProTaper²⁵ Instrumenten aufbereitet. Als Endomotor dient der low-torque Motor Endo IT professional⁹. In dem Gerät sind die Anwendungssequenzen der verschiedenen Systeme gespeichert. Es werden fabrikneue Feilen verwendet. Eine Feile wird für die Aufbereitung von jeweils 5 Kanälen benutzt.

Die Endoblöckchen werden nacheinander von ein und derselben Person vollständig aufbereitet. Bei jedem Instrument wird das Gleitmittel FileCare®EDTA¹⁰ verwendet. Nach jeder Feile wird der Kanal mit 1 ml Wasser gespült, nach dem Beenden der Kanalaufbereitung wird er so lange gespült, bis kein Gleitmittel mehr im Kanal sichtbar ist.

Nachdem der Kanal getrocknet ist, wird ein Guttapercha-Stift¹² der ISO Größe 35/.02 bis zum apikalen Stop geschoben und auf Höhe des Kanaleinganges gekürzt.

Bei der Aufbereitung der Endoblöckchen der Gruppe I/K3 wird die Sequenz verwendet, die in Tab. 1 dargestellt ist. Die Feilen werden mit 300 Umdrehungen pro Minute eingesetzt. Zunächst wird der Kanaleingang mittels den Feilen 25/.10 und 25/.08 dargestellt. Anschließend wird der Kanal im Sinne der „Crown-down Technik“ bis zur Feilengröße 20/.04 auf die volle Arbeitslänge von 18 mm aufbereitet. Die Arbeitssequenz wird ab der Größe 40/.04 so lange wiederholt, bis die Feile 35/.04 als apikale Masterfeile bis zur vollständigen Arbeitslänge in den Kanal eingebracht werden kann.

ISO -Größe	Konizität (Taper)	Arbeitslänge (Technik)
25	.10	<18 mm (Crown-down)
25	.08	<18 mm (Crown-down)
40	.04	<18 mm (Crown-down)
35	.04	<18 mm (Crown-down)
30	.04	<18 mm (Crown-down)
25	.04	<18 mm (Crown-down)
20	.04	=18 mm

Tab. 1: Arbeitssequenz und Arbeitslängen für Gruppe I/K3. Die Sequenz wird ab der ISO-Größe 40/.04 so lange wiederholt, bis die Feile 35/.04 in der Arbeitslänge von 18 mm im Kanal verwendet werden kann.

Bei der Aufbereitung der Kanäle der Gruppe II/Mtwo werden zunächst die „Intro-Files“ verwendet, um das koronale Drittel aufzubereiten. Die Feilen werden mit 280 Umdrehungen pro Minute eingesetzt. Die Anwendungsreihenfolge der Instrumente ist in Tab. 2 dargestellt. Die Aufbereitung wird im Sinne der „Single-length Technik“ durchgeführt. Alle Instrumente bis auf die „Intro-Files“ werden in voller Arbeitslänge in den Kanal eingebracht und die Kanalwände mit tupfenden Bewegungen und unter leichtem Druck bearbeitet.

ISO-Größe	Konizität (Taper)	Arbeitslänge (Technik)
10	.04	<18 mm
15	.05	<18 mm
20	.06	18 mm (Single-length)
25	.06	18 mm (Single-length)
30	.05	18 mm (Single-length)
35	.04	18 mm (Single-length)
25	.07	18 mm (Single-length)

Tab. 2: Anwendungssequenz und Arbeitslängen für Gruppe II/ Mtwo. Die Feilen der ISO-Größe 10/.10 und 15/.08 werden nicht in voller Arbeitslänge verwendet. Alle darauffolgenden Feilen werden in voller Arbeitslänge von 18 mm in den Kanal eingebracht.

Bei der Aufbereitung der Kanäle der Gruppe III/ ProTaper wird die Arbeitssequenz für mittellange und lange Kanäle gewählt, wie in Tab. 3 zu sehen ist. Auch hier beträgt die Umdrehungszahl der Feilen 300 Rotationen pro Minute. Die initiale Eröffnung erfolgt mit der S1-Feile und daran anschließend mit der SX Feile. Im Sinne der Crown down Technik werden die beiden Feilen zunächst nicht in voller Arbeitslänge verwendet. Die erneut zu benutzende S1 Feile erreicht als erstes die volle Arbeitslänge von 18 mm. Formgebend für den Kanal werden die Feilen F1, F2, F3 und die Feile 35/.06 von ProFile benutzt, die alle nacheinander in voller Arbeitslänge in den Kanal eingebracht werden.

Feile	Konizität (Taper)	Arbeitslänge (Technik)
S1	11 verschiedene Taper (2%-11%)	<18 mm (Crown down)
SX	9 verschiedene Taper (3,5%-19%)	<18 mm (Crown down)
S1	11 verschiedene Taper (2%-11%)	18 mm
S2	9 verschiedene Taper (4%-11,5%)	18 mm
F1	Reverse Taper (7%-5,5%)	18 mm
F2	Reverse Taper (8%-5,5%)	18 mm
F3	Reverse Taper (9%-5%)	18 mm
ProFile 35	.06	18 mm

Tab.3: Anwendungssequenz und Arbeitslängen für Gruppe III/ ProTaper. Die Feilen S1 und SX werden zunächst nicht in voller Arbeitslänge verwendet. Danach erreicht S1 als erstes die volle Arbeitslänge. Alle darauffolgenden Instrumente werden in voller Arbeitslänge in den Kanal eingebracht.

4.1.5. Bilddokumentation der bearbeiteten Prüfkörper

Nachdem die Kanäle aufbereitet worden sind, wird die schwarze Farbe des Filzstiftes aus den eingravierten Zahlen mit 98% Alkohol⁴ ausgewaschen. Erneut werden Fotografien, wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben, von den Endblöckchen angefertigt, jedoch erfolgt keine Farbstoffinjektion der Kanäle und als Bildhintergrund dient schwarzes Papier. Die Wurzelkanäle werden mit einem Lichtgerät¹⁷ über einen flexiblen Lichtleiter aus koronaler Richtung beleuchtet.

Die Bilder werden wiederum auf einer Chip-Karte gespeichert und mittels Kartenleser¹⁴ in den PC² übertragen. Die Daten werden unter jpg. Format gespeichert.

4.1.6. Beurteilung der Kanal-Morphologie

Unter Verwendung des Bildbearbeitungsprogramms Adobe Photoshop[®] 7.0³ werden die aufbereiteten Kanäle bei 20facher Vergrößerung bezüglich ihrer morphologischen Veränderungen, die durch die Aufbereitung entstanden sind, am PC²-Bildschirm befundet.

Die Kanäle werden auf folgende Aufbereitungsfehler untersucht:

1. Zip (Trichterform)
2. Elbow (Sanduhrform)
3. Ledge (Stufenbildung)

In Abbildung 13 sind die drei Aufbereitungsfehler noch einmal photographisch dargestellt.



Abb. 13: Fotografische Darstellung der Aufbereitungsfehler. Die dargestellten Fehler entstammen einer Arbeit mit manueller Aufbereitung (Sonntag et al., 2003). Bei rotierender Instrumentierung treten Kanalabweichungen weniger deutlich auf.

4.1.7. Beurteilung der Aufbereitungslängen

Anhand der eingesetzten Masterpoints¹¹ wird die Arbeitslänge des jeweiligen Kanals überprüft. Dies geschieht unter einem Auflichtmikroskop²⁹ bei 20facher Vergrößerung. Im Mikroskop ist eine Skalierung vorhanden, so dass die Arbeitslängen in Millimetern angegeben werden können. 17,5 Teilstriche entsprechen 1 mm.

Es gibt drei Kategorien, in die die Aufbereitungslängen eingeordnet werden können:

1. Masterpoint korrekte Länge: 0-2 mm vor dem apikalen Foramen
2. Masterpoint zu kurz: > 2 mm vom apikalen Foramen entfernt
3. Masterpoint zu lang: über das apikale Foramen hinaus reichend

4.1.8. Beurteilung der apikalen Foramina

Die apikalen Foramina werden auch unter dem Auflichtmikroskop²⁹ bei 40facher Vergrößerung beurteilt. Vor der Aufbereitung beträgt der vertikale Durchmesser eines Foramens weniger als 33 μm . 34 Teilstriche entsprechen 1 mm. Es gibt auch hier drei Kategorien, in die die Foramina nach der Aufbereitung eingeteilt werden können:

1. Apikales Foramen unversehrt: Durchmesser $< 33 \mu\text{m}$
2. Apikales Foramen bearbeitet: Durchmesser $\geq 33 \mu\text{m}$
3. Apikales Foramen nicht mehr durchgängig

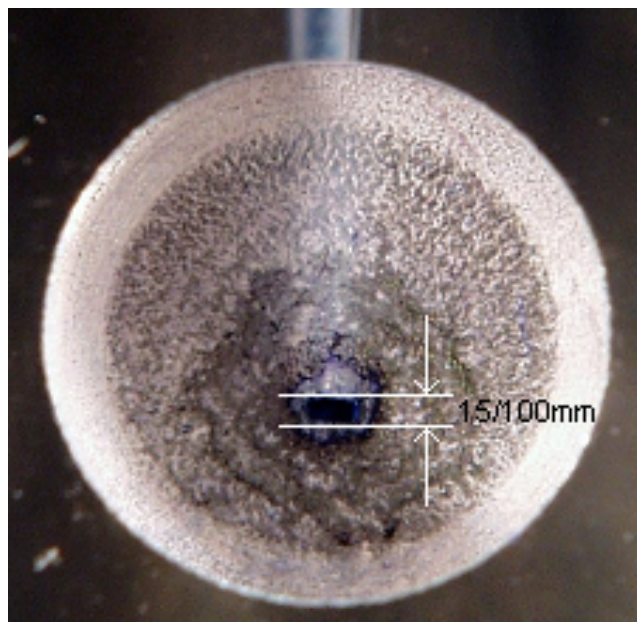


Abb.14: Unversehrtes, nicht verblocktes Foramen apikale mit einer vertikalen Breite von 15 μm

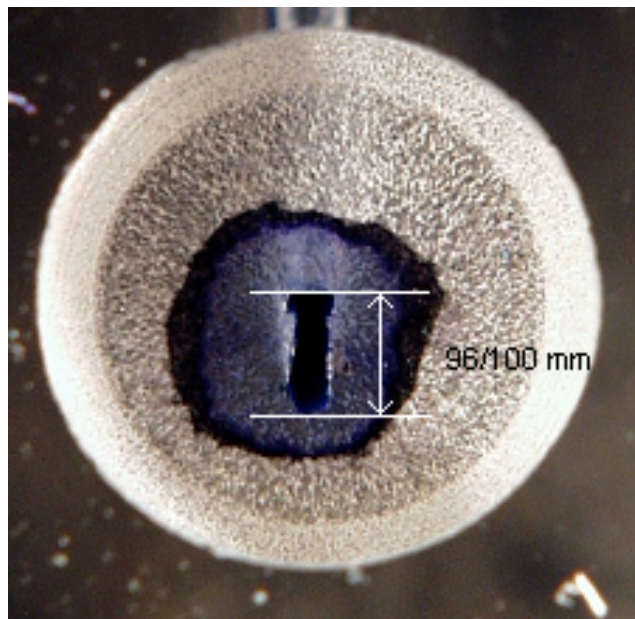


Abb.15: *erweitertes Foramen mit einer vertikalen Breite von 96 μ m*



Abb.16: *nicht durchgängiges, verblocktes Foramen*

4.1.9. Überlagerung am PC

Von den Prüfkörpern werden, wie in den Kapiteln 4.1.3 und 4.1.5 beschrieben, vor und nach der Aufbereitung digitale Bilder angefertigt. Diese Vorher-/Nachherbilder können mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms³ überlagert werden. Die Bilder werden zuvor auf den relevanten Ausschnitt reduziert. Als Orientierungspunkte für die Überlagerung dienen die in die Blöckchen eingefrästen Kreuze und Nummern. Die Bilder können bei Bedarf auch um nur wenige Grade gedreht werden, um eine ideale Überlagerung zu erreichen. Die überlagerten Bilder werden zusätzlich mit einer Maske überdeckt, durch die sechs Messpunkte entlang des Kanalverlaufes festgelegt werden (Abb. 17). Der erste Messpunkt befindet sich 1 mm koronal des apikalen Foramens, die anderen Messpunkte folgen jeweils in einem Abstand von 2 mm, somit ergeben sich Messpunkte bei 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm und 11 mm koronal von dem apikalen Foramen entfernt. Dadurch werden für alle Bilder die Messpunkte an den jeweils gleichen Stellen definiert.

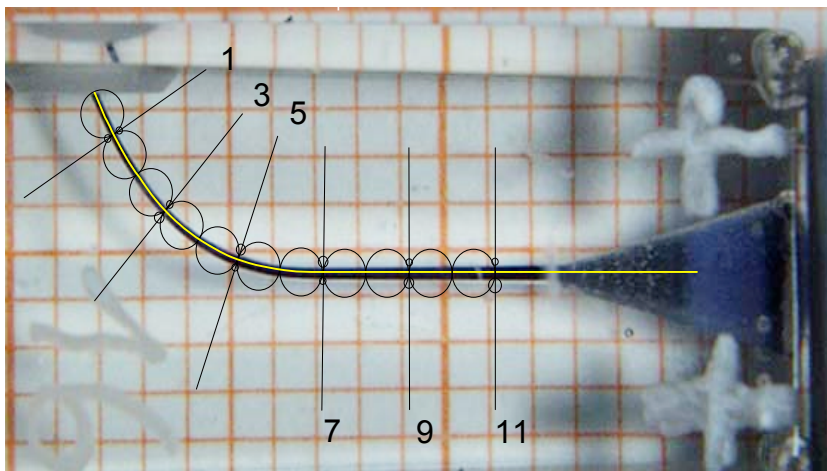


Abb.17: Ausgangsbild eines Blöckchens vor Aufbereitung mit der überlagerten Maske. Die Zahlenwerte 1-11 geben die jeweiligen Messpunkte mit ihrem Abstand vom apikalen Foramen in mm an.

4.1.10. Beurteilung der Transportation

Für die Messung des Materialabtrages, der durch die Aufbereitung der Kanäle entstanden ist, wird die Linealfunktion des Bildbearbeitungsprogramms³ angewendet. Auf Höhe der vorgegebenen Messpunkte werden bei einer 32fachen Vergrößerung die Abstände zwischen dem Kanalverlauf vor Bearbeitung und dem Kanalverlauf nach Bearbeitung jeweils an der inneren und der äußeren Krümmung gemessen (Abb.18).

Als Vorlage zum Messen der Transportation dient das von *Luiten et al.* vorgestellte Verfahren (Luiten et al., 1995). Als transportiert wird ein Kanal bezeichnet, wenn an einem Messpunkt der durch die Aufbereitung entstandene Materialabtrag einer Kanalseite, den der gegenüberliegenden Seite um den Faktor 3 überschreitet.

Die ermittelten Abstände für die innere und die äußere Krümmung werden für den jeweiligen Messpunkt addiert. Wenn die ermittelten Werte an den untersuchten Messpunkten von apikal nach koronal zunehmen oder über maximal zwei Messpunkte konstant bleiben, gilt der Verlauf des Kanals als konisch.

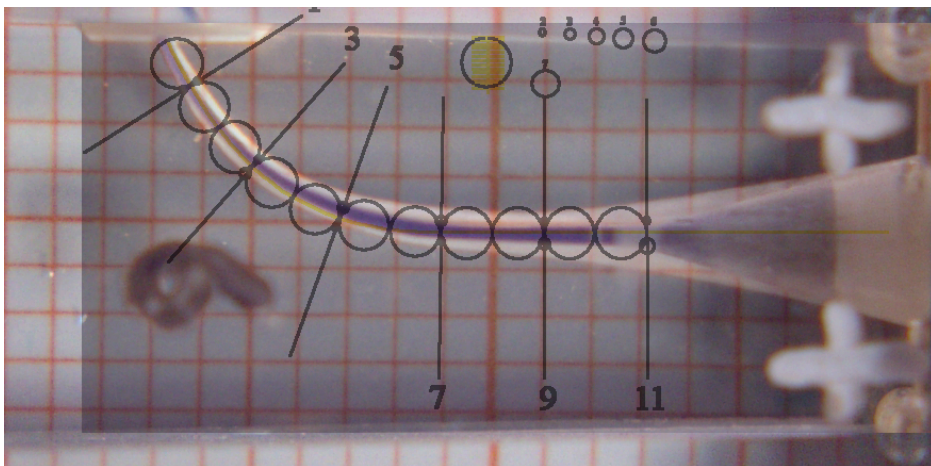


Abb. 18: Überlagerte Vorher-/Nachher Bilder eines Kanals. An den jeweiligen Messpunkten 1-11 mm wird die Transportation nachgemessen. Ein Kanal gilt als transportiert, wenn an einem Messpunkt der durch die Aufbereitung entstandene Materialabtrag einer Kanalseite, den der gegenüberliegenden Seite um den Faktor 3 überschreitet.

4.1.11. Auswertung der Instrumentenfrakturen

Alle benutzten Feilen werden bei 20facher Vergrößerung unter dem Auflichtmikroskop untersucht, um Aufwindungen und Frakturen festzustellen. Folgende Daten werden dabei erhoben:

1. ISO Größe des betroffenen Instruments
2. Abstand der Fraktur/Aufwindung von der Instrumentenspitze
3. Konizität

4.2. Natürliche humane Zähne

4.2.1. Versuchdesign natürliche humane Zähne

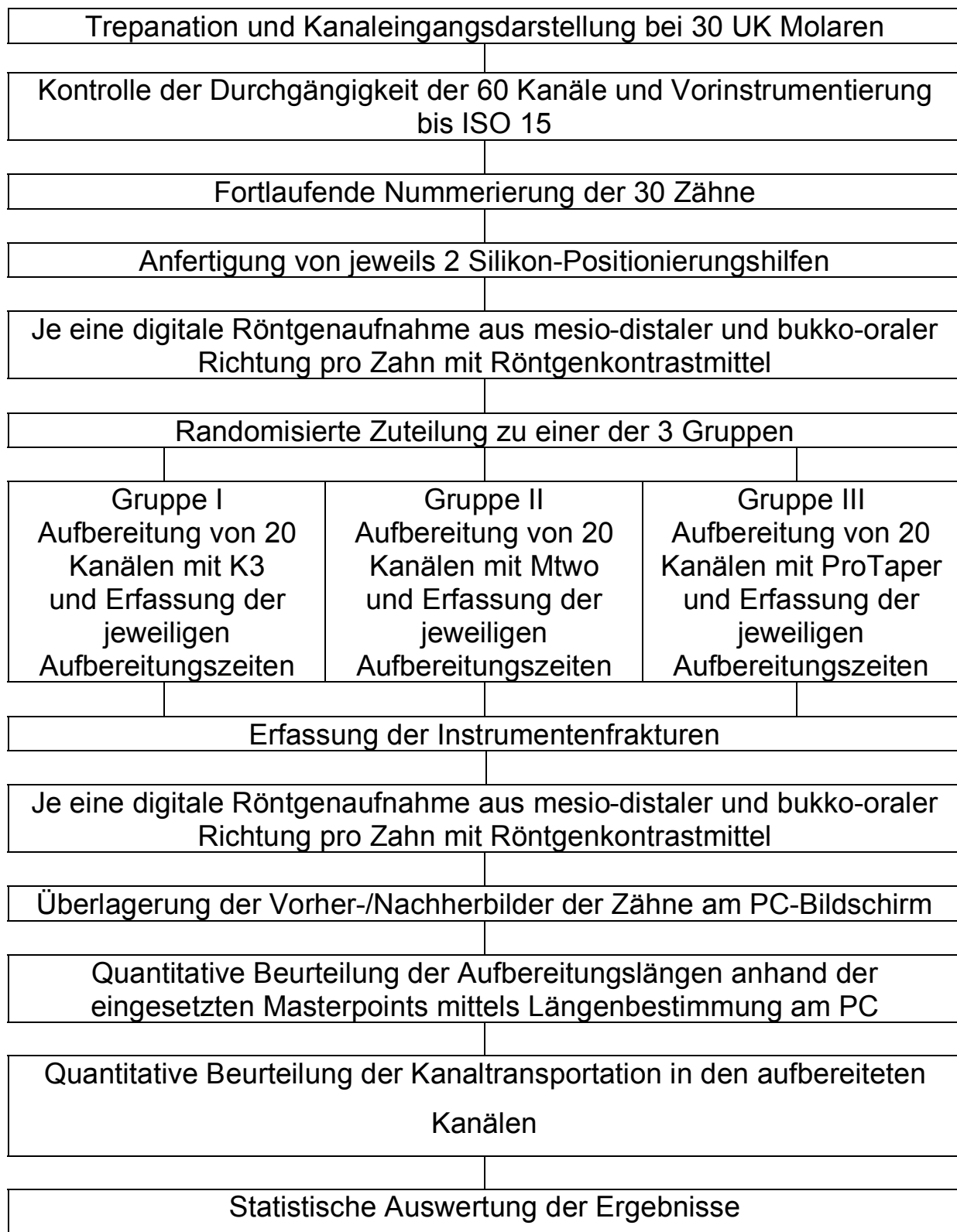


Abb.19: Versuchsplan für natürliche humane Zähne

4.2.2. Vorbehandlung der humanen Unterkiefermolaren

Für den Versuch werden nur 1. und 2. Molaren des Unterkiefers verwendet. Die ausgewählten Zähne müssen ein abgeschlossenes Wurzelwachstum aufweisen, nicht aufbereitet oder gefüllt sein, sowie mesial zwei Kanäle (mesio-lingual und mesio-bukkal) enthalten. Die distalen Wurzeln der Molaren werden nicht in den Versuch mit einbezogen und von der mesialen Wurzel abgetrennt.

Es zeigt sich, dass bei 63,3% der 30 Zähne die beiden mesialen Kanäle in ein Foramen apikale münden, sie sich also im apikalen Wurzeldrittel vereinigen. Von den 60 untersuchten Kanälen verliefen 33,3% S-förmig.

Zunächst wird der jeweilige Zahn trepaniert und die alten Füllungen vollständig entfernt. Die Kanaleingänge werden mittels Gates-Glidden-Bohrern¹¹ dargestellt und ein Preflare im koronalen Drittel vorgenommen. Anschließend werden die mesialen Kanäle mit C-Pilot Feilen⁶ ISO 06/.02 auf ihre Durchgängigkeit geprüft. Die jeweilige Arbeitslänge wird notiert und Silberstifte²⁷ der ISO 10/0.2 werden auf die Arbeitslängen gekürzt und in die Kanäle eingebracht.

Sind die Kanäle durchgängig, so werden sie bis ISO 15/.02 mit den C-Pilot-Feilen vorinstrumentiert. Nach jedem Instrumentenwechsel werden die Kanäle mit 1 ml Natriumhypochlorid 3,5 %²² durchgespült.

Die behandelten Zähne werden mit einer Diamantkugel⁷ von 1 bis 30 durchnummeriert. Die Nummern werden mit einem wasserfesten schwarzen Filzstift¹⁸ nachgezogen. Die Zähne werden anhand eines Zufallgenerators³³ in die drei Gruppen eingeteilt.

Bevor die Röntgenaufnahmen angefertigt werden, wird in die Kanäle ein Kontrastmittel¹ injiziert, um zusätzlich zu den Silberstiften eine bessere Kanaldarstellung zu erzielen.

4.2.3. Herstellung der Röntgenaufnahmen

Um bei den Röntgenaufnahmen eine Reproduzierbarkeit der Einstellung des Röntgentubus gewährleisten zu können, wird ein Träger³¹ konstruiert (Abb.20,21), der einen immer gleichen Winkel und Abstand von Film, Prüfkörper und Tubus gewährleistet. Ein digitaler Film kann in eine Lade eingelegt werden und der Zahn über diesen reproduzierbar mit einem Silikonschlüssel (A-Silikon²³) eingebracht werden (Abb.20,21).

Für jeden Zahn wird ein Silikonschlüssel hergestellt, damit die Kanäle aus mesio-distaler Richtung geröntgt werden können.

Damit eine spätere Überlagerung der Vorher-/Nachherbilder eindeutig vollzogen werden kann, wird zur Orientierung in die Positionierungshilfen (Abb. 22) jeweils koronal und apikal des Zahnes ein Stück eines Silberstiftes²⁷ eingebracht.

Zum Erstellen der Röntgenbilder wird das digitale Röntgensystem von Digora⁸ verwendet. Die Belichtungszeit beträgt 0.06 s.

Die Röntgenbilder werden als tif. Dateien auf dem PC² gespeichert.

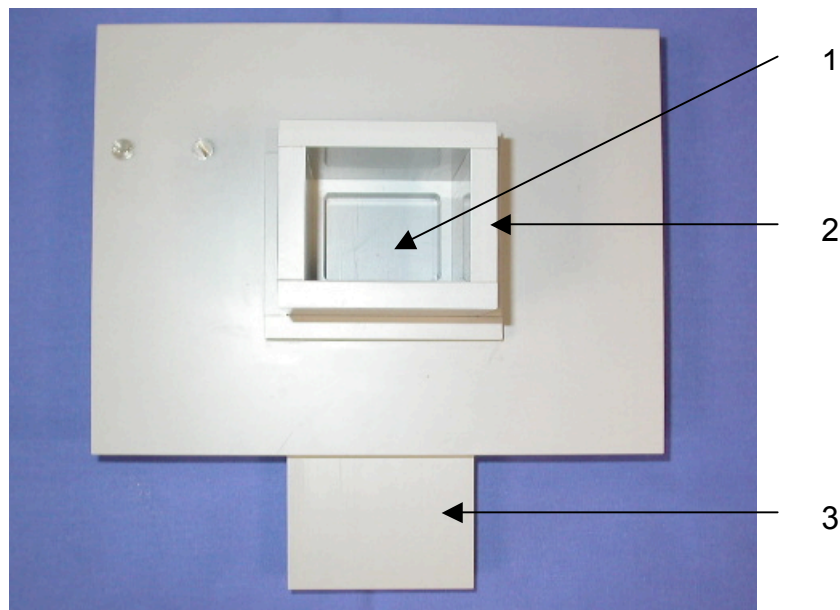


Abb.20: Träger von oben: 1: Probenträger, auf dem der Zahn mittels Silikonschlüssel fixiert wird; 2: Kästchen, in das der Röntgentubus eingeführt wird; 3: Lade, in die die Speicherfolie hineingelegt und unter den Prüfträger geschoben wird.

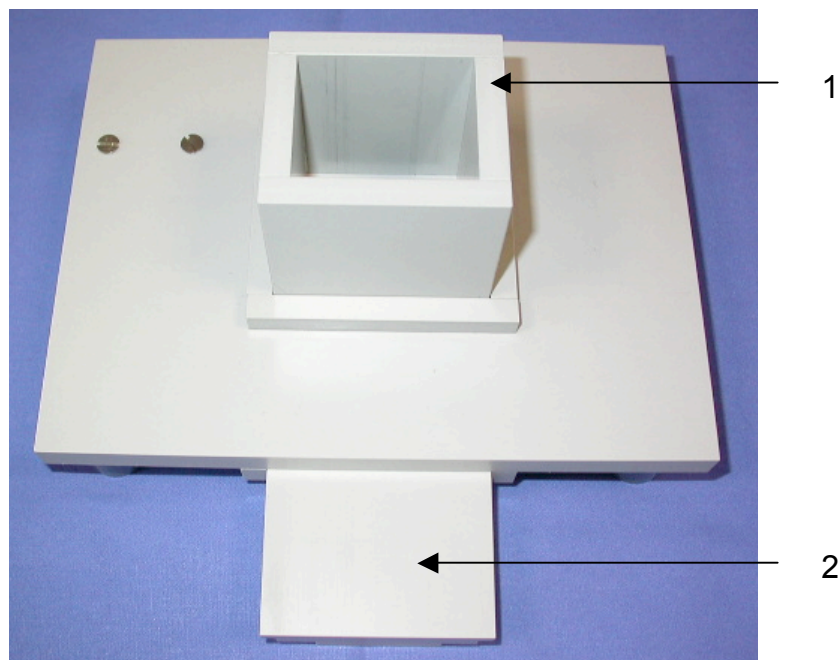


Abb.21: Vorrichtung zum reproduzierbaren Röntgen von der Seite: 1: Kästchen zur Aufnahme des Röntgentubus; 2: Lade für die Speicherfolie.

4.2.4. Versuchsablauf

Die Wurzelkanäle der humanen Zähne werden in den jeweiligen Gruppen in derselben Instrumentenabfolge wie die artifiziellen Kanäle (siehe Abschnitt 4.1.4) von ein und derselben Person aufbereitet.

Die Feilen werden alle vor dem Einbringen in den Kanal mit etwas Gleitmittel¹⁰ versehen. Nach jeder Feile werden die Kanäle mit 1 ml NaOCL 3,5%²¹ gespült.

Nachdem die Kanäle vollständig aufbereitet sind, werden sie mit Papierspitzen²⁶ getrocknet und Masterpoints¹² der ISO Größe 35/.02 werden in jeweils einen Kanal bis zum apikalen Stop eingebracht. Zudem wird zur besseren Darstellung der Kanäle im Röntgenbild Kontrastmittel¹ in die Kanäle injiziert.

Die Zähne werden in die jeweiligen Silikon-Träger repositioniert und geröntgt.

4.2.5. Beurteilung der Aufbereitungslängen

Anhand der eingesetzten Masterpoints¹² kann das Röntgenbild kalibriert und die Arbeitslänge des jeweiligen Kanals kontrolliert werden. Dies geschieht durch die Längenbestimmung mit dem Programm Digora⁸ am PC². Der Abstand zwischen dem anatomischen Apex und der Spitze des Masterpoints¹² wird mit Hilfe des Programms ermittelt. Bei den Kanälen, die sich vor dem apikalen Foramen vereinigen und aufgrund dessen der Masterpoint des einen Kanals nicht das Foramen erreicht, wird der Kanal dennoch als korrekt aufbereitet betrachtet.

Es gibt drei Kategorien, in die die Aufbereitungslängen eingeordnet werden können:

1. Masterpoint korrekte Länge: 0-2 mm vor dem anatomischen Apex
2. Masterpoint zu kurz: > 2 mm vom anatomischen Apex entfernt
3. Masterpoint zu lang: aus der Zahnwurzel herausragend

4.2.6. Überlagerung am PC

Die vor und nach der Aufbereitung der mesialen Kanäle angefertigten digitalen Röntgenbilder werden mittels Adobe Photoshop® 7.0³ überlagert (Abb. 22-24) (siehe auch Abschnitt 4.1.9). Auch hier wird wiederum eine zuvor entworfene Maske verwendet, durch die Messpunkte bei 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm und 11 mm festgelegt werden (Abb. 24).

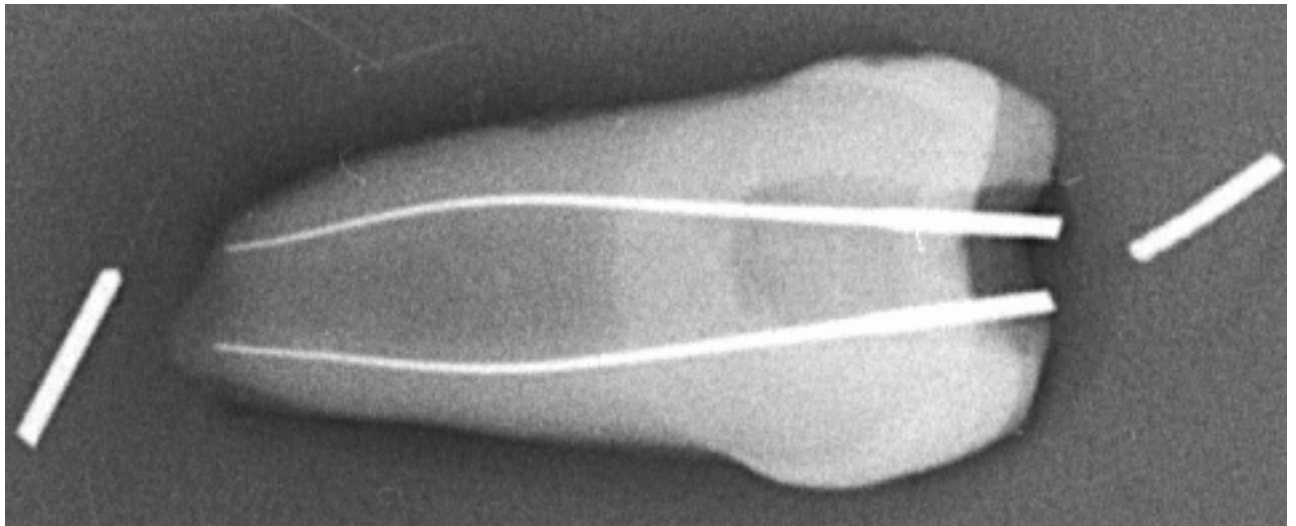


Abb.22: Röntgenbild vor Bearbeitung des Kanals. Die Silberstifte koronal und apical des Zahnes dienen als Positionierungshilfen zur späteren Überlagerung der Vorher-/Nachherbilder am PC-Bildschirm.

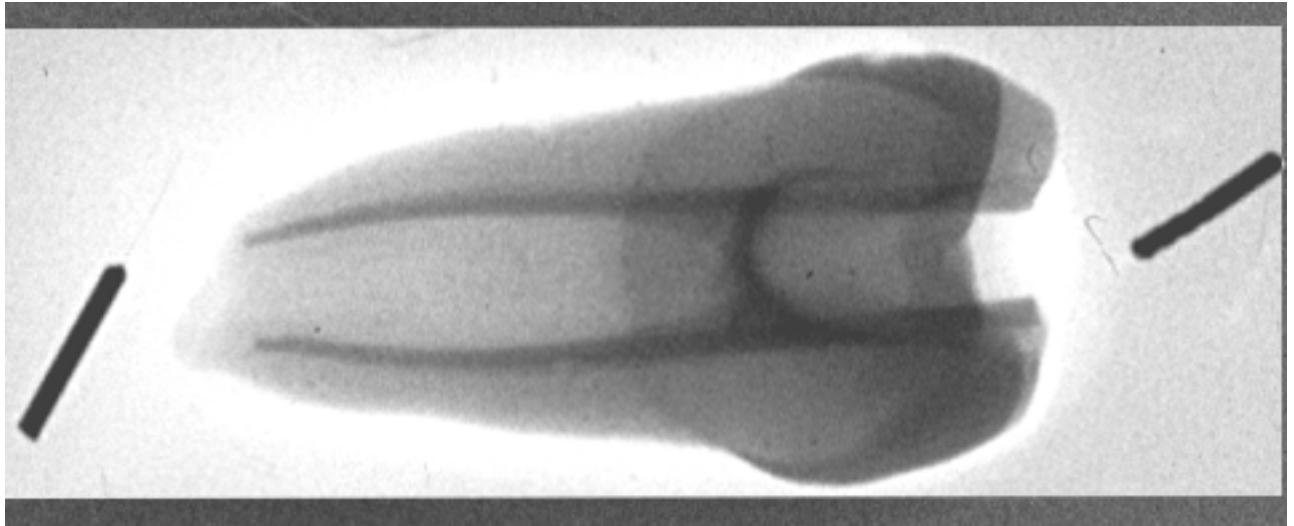


Abb.23: Röntgenbild nach der Bearbeitung des Kanals, gefüllt mit Röntgenkontrastmittel. Mit der Software des Digora®-Röntgensystems kann das Röntgenbild positiv dargestellt werden. Dies ermöglicht eine Überlagerung der Vorher-/Nachher-Bilder.

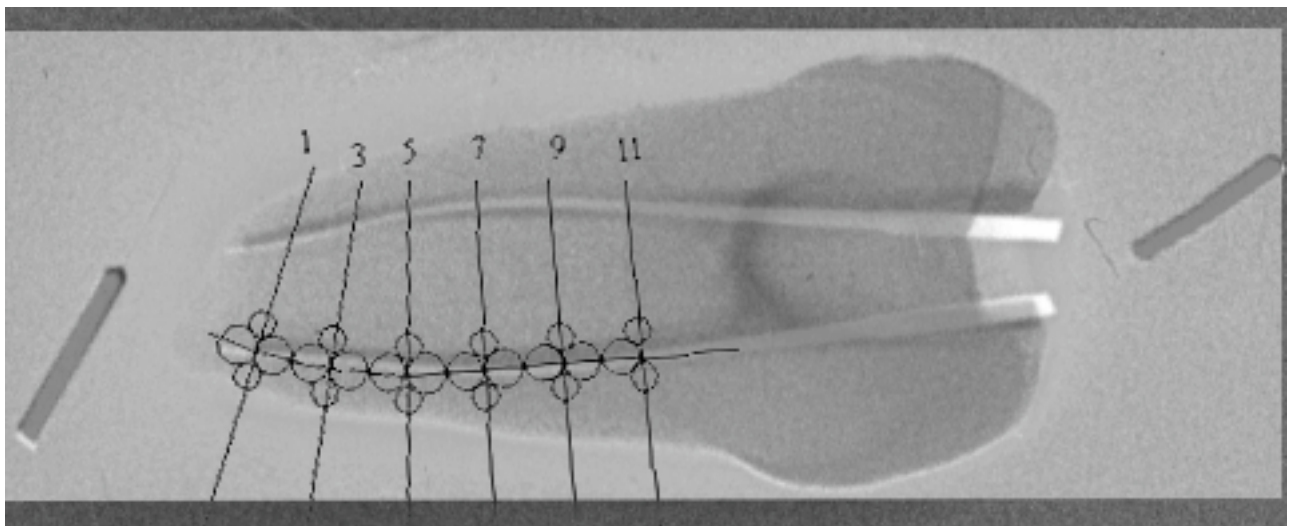


Abb.24: Überlagerte Vorher-/Nachher-Röntgenbilder mit Maske.

4.2.7. Beurteilung der Transportation

Um den durch die Aufbereitung der Kanäle entstandenen Materialabtrag zu messen, wird die Linealfunktion des Bildbearbeitungsprogramms² angewendet. Bei einer 64fachen Vergrößerung werden auf Höhe der vorgegebenen Messpunkte die Abstände zwischen dem Kanalverlauf vor Wurzelkanalbehandlung und dem Kanalverlauf nach Aufbereitung jeweils an der inneren und der äußeren Krümmung gemessen. Wie schon in Abschnitt 4.1.10 beschrieben, gilt der Kanal als transportiert, wenn der Materialabtrag an einem Messpunkt an der inneren oder der äußeren Krümmung den Abstand der gegenüberliegenden Seite um den Faktor 3 überschreitet.

Die ermittelten Abstände für die innere und äußere Krümmung werden für den jeweiligen Messpunkt addiert. Wenn die ermittelten Werte an den untersuchten Messpunkten von apikal nach koronal zunehmen oder über maximal zwei Messpunkte konstant bleiben, gilt der Verlauf des Kanals als konisch.

4.3. Statistische Auswertung

Der statistische Teil dieser Arbeit wird anhand der Vorgaben von Zöfel (2001) konzipiert. Die statistischen Auswertungen der Daten aus Kap. 4.1. und 4.2. erfolgt mit dem Statistikprogramm SPSS® 12.0²⁸. Die Daten der drei Instrumenten-Systeme werden gegeneinander statistisch getestet. Zunächst werden die Daten der intervallskalierten Werte (Transportation des Kanalverlaufs, Materialabtrag und Aufbereitungszeit) mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Diesem Test entsprechend erfolgt die weitere Auswertung mit dem nicht parametrischen U-Test nach Mann und Whitney oder dem parametrischen T-Test zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben.

Bei der Auswertung der nominal- bzw. ordinalskalierten Werte (Aufbereitungsfehler, Aufbereitungslängen, Apices und Instrumentenfrakturen) wird der Chi-Quadrat-Test angewendet. Wird mittels Chi-Quadrat-Test ein signifikanter Unterschied festgestellt, erfolgt eine Spezifizierung der Einzelwerte durch die standardisierten Residuen.

In den Daten gefundene Unterschiede werden als:

1. nicht signifikant (n.s.) bezeichnet, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit (p) bei $> 5\%$ liegt ($p > 0,05$)
2. signifikant bezeichnet, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit bei $\leq 5\%$ liegt ($p \leq 0,05$)
3. sehr signifikant, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit bei $\leq 1\%$ lag ($p \leq 0,01$)
4. höchst signifikant, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit bei $\leq 0,1\%$ liegt ($p \leq 0,001$)

5. Ergebnisse

5.1. Artificielle Wurzelkanäle

Von den 150 aufbereiteten Wurzelkanälen konnten 149 Kanäle ausgewertet werden. In einem Kanal steckte eine frakturierte K3 Feile, eine Auswertung war somit nicht möglich.

5.1.1. Morphologische Beurteilung der aufbereiteten artifiziellen Wurzelkanäle

Der Anteil erzeugter Zips lag bei der Aufbereitung mit ProTaper-Feilen mit 50% sehr signifikant ($p \leq 0,01$) über dem Wert von 20% der mit Mtwo-Feilen aufbereiteten Kanäle.

Der Anteil erzeugter Zips lag bei der Aufbereitung mit K3 mit 46,9% sehr signifikant über dem Wert von 20% der mit Mtwo aufbereiteten Kanäle.

Es zeigte sich kein signifikanter ($p > 0,05$) Unterschied in der Häufigkeit erzeugter Zips zwischen den Aufbereitungen mit ProTaper (50%) und K3 (46,9%).

Der Anteil erzeugter Elbows unterschied sich bei der Aufbereitung mit ProTaper mit 50% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert von 32% der mit Mtwo aufbereiteten Kanäle.

Die Häufigkeit erzeugter Elbows unterschied sich bei der Aufbereitung mit K3 mit 46,9% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert von 32% der mit Mtwo aufbereiteten Kanäle.

Es zeigte sich kein signifikanter ($p > 0,05$) Unterschied in der Häufigkeit erzeugter Elbows zwischen den Aufbereitungen mit ProTaper (50%) und K3 (50%).

Der Anteil erzeugter Ledges unterschied sich bei der Aufbereitung mit ProTaper mit 2% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert von 0% der mit Mtwo aufbereiteten Kanäle.

Es zeigte sich kein signifikanter ($p > 0,05$) Unterschied in den Anteilen erzeugter Ledges zwischen den Aufbereitungen mit K3 und Mtwo, die beide 0% betrugen.

Der Anteil erzeugter Ledges unterschied sich bei der Aufbereitung mit ProTaper mit 2% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert von 0% der mit K3 aufbereiteten Kanäle (Tab.4).

Instrumenten-System				Signifikanz-Test
Artefakt- Typ	K-3	Mtwo	ProTaper	p Werte
Zip	---	20%	50%	0,003
Zip	46,9%	20%	---	0,003
Zip	46,9%	---	50%	n.s.
Elbow	---	32%	50%	n.s.
Elbow	46,9%	32%	---	n.s.
Elbow	46,9%	---	50%	n.s.
Ledge	---	0%	2%	n.s.
Ledge	0%	0%	---	n.s.
Ledge	0%	---	2%	n.s.

Tab.4: Prozentuale Häufigkeit der morphologischen Kanalveränderungen (Artefakten) vom Typ: zip, elbow, ledge bei maschineller Aufbereitung mit den Systemen K-3, Mtwo und ProTaper.

5.1.2 Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen

Der Anteil korrekt aufbereiteter Kanäle (MP 0-2 mm) unterschied sich bei der Aufbereitung mit K3, Mtwo und ProTaper nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

Der Anteil zu kurzer Aufbereitungslängen (MP > 2 mm) unterschied sich bei der Aufbereitung mit K3, Mtwo und ProTaper nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

Der Anteil zu langer Masterpoints (MP < 0 mm) unterschied sich bei der Aufbereitung mit K3, Mtwo und ProTaper nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander (Tab.5).

Instrumenten-System				Signifikanz-Test
Entfernung des MP vom AF	K3	Mtwo	ProTaper	p Werte
MP 0 – 2 mm	---	94%	92%	n.s.
MP 0 – 2 mm	98%	94%	---	n.s.
MP 0 – 2 mm	98%	---	92%	n.s.
MP > 2 mm	---	0%	8%	n.s.
MP > 2 mm	0%	0%	---	n.s.
MP > 2 mm	0%	---	8%	n.s.
MP < 0 mm	---	6%	0%	n.s.
MP < 0 mm	2%	6%	---	n.s.
MP < 0 mm	2%	---	0%	n.s.

Tab.5: Beurteilung der Aufbereitungslänge anhand des im Kanal positionierten Masterpoints (MP) und seines Abstandes zum apikalen Foramen (AF). Es wurde zwischen korrekt aufbereiteten (MP 0 -2 mm von AF entfernt), zu kurz aufbereiteten (MP > 2 mm) Kanälen und zu langer, über das apikale Foramen hinaus ragende Masterpoints (MP < 0 mm) unterschieden.

5.1.3. Qualitative Beurteilung der apikalen Foramina

Der Anteil unversehrter apikaler Foramina (AF) unterschied sich bei der Aufbereitung mit K3, Mtwo und ProTaper nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

Der Anteil mechanisch bearbeiteter AF unterschied sich bei der Aufbereitung mit K3, Mtwo und ProTaper nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

Der Anteil verblockter AF unterschied sich bei der Aufbereitung mit K3, Mtwo und ProTaper nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander (Tab.6).

Instrumenten-System				Signifikanz-Test
	K3	Mtwo	ProTaper	p Werte
AF unversehrt	---	22%	38%	n.s.
AF unversehrt	36%	22%	---	n.s.
AF unversehrt	36%	---	38%	n.s.
AF mechanisch bearbeitet	---	76%	60%	n.s.
AF mechanisch bearbeitet	61,2%	76%	---	n.s.
AF mechanisch bearbeitet	61,2%	---	60%	n.s.
AF verblockt	---	2%	2%	n.s.
AF verblockt	2%	2%	---	n.s.
AF verblockt	2%	---	2%	n.s.

Tab.6: Beurteilung des apikalen Foramens (AF). Das AF galt als unversehrt, wenn der Durchmesser weniger als 33 μ m betrug. Ab einem Durchmesser von 33 μ m und darüber hinaus galt das AF als mechanisch bearbeitet. Ein AF galt als verblockt, wenn es nicht mehr durchgängig war.

5.1.4. Quantitative Untersuchung zur Kanaltransportation

Am **Messpunkt 1 mm** lag der Anteil transportierter Wurzelkanäle bei der Aufbereitung mit ProTaper mit 22% signifikant ($p \leq 0,05$) über dem Wert der mit Mtwo (6%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit K3 unterschied sich der Anteil transportierter Kanäle mit 2% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert der mit Mtwo (6%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit ProTaper lag der Anteil transportierter Kanäle mit 22% sehr signifikant ($p \leq 0,01$) über dem Wert der mit K3 (2%) aufbereiteten Kanäle.

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkrümmung (AK).

Am **Messpunkt 3 mm** lag der Anteil transportierter Wurzelkanäle bei der Aufbereitung mit ProTaper mit 56% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit Mtwo (12%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit K3 unterschied sich der Anteil transportierter Kanäle mit 18,4% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert der mit Mtwo (12%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit ProTaper lag der Anteil transportierter Kanäle mit 56% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit K3 (28,4%) aufbereiteten Kanäle.

Die Transportation der Kanäle erfolgte bei allen Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkrümmung (AK).

Am **Messpunkt 5 mm** lag der Anteil transportierter Kanäle bei der Aufbereitung mit Mtwo mit 16% signifikant ($p \leq 0,05$) über dem Wert der mit ProTaper (6%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit K3 unterschied sich der Anteil transportierter Kanäle mit 10,2% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert der mit Mtwo (16%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit K3 unterschied sich der Anteil transportierter Wurzelkanäle mit 10,2% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert der mit ProTaper (6%) aufbereiteten Kanäle.

Die Transportation der Kanäle erfolgte bei allen Systemen ausschließlich in Richtung der Innenkurvatur (IK).

Am **Messpunkt 7 mm** unterschied sich der Anteil transportierter Kanäle bei der Aufbereitung mit Mtwo mit 28% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert der mit ProTaper (36%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit Mtwo lag der Anteil transportierter Kanäle mit 28% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit K3 (2%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit ProTaper lag der Anteil transportierter Kanäle mit 36% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit K3 (2%) aufbereiteten Kanäle.

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen Systemen ausschließlich in Richtung der Innenkurvatur (IK).

Am **Messpunkt 9 mm** lag der Anteil der transportierten Kanäle bei der Aufbereitung mit ProTaper mit 30% sehr signifikant ($p \leq 0,01$) über dem Wert der mit Mtwo (6%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit K3 lag der Anteil transportierter Wurzelkanäle mit 16,3% signifikant ($p \leq 0,05$) über dem Wert der mit Mtwo (6%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit K3 unterschied sich der Anteil transportierter Kanäle mit 16,3% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert der mit ProTaper (30%) aufbereiteten Kanäle.

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkurvatur (AK).

Am **Messpunkt 11mm** lag der Anteil transportierter Kanäle bei der Aufbereitung mit ProTaper mit 56% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit Mtwo (16%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit K3 unterschied sich der Anteil transportierter Kanäle mit 22,4% nicht signifikant ($p > 0,05$) von dem Wert der mit Mtwo (16%) aufbereiteten Kanäle.

Bei der Aufbereitung mit ProTaper lag der Anteil transportierter Kanäle mit 56% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit K3 (22,4%) aufbereiteten Kanäle (Tab.7).

Die Transportation der Wurzelkanäle erfolgte bei allen Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkurvatur (AK).

Entfernung der Messpunkte vom Apex	Transportierte Kanäle bei K3	Transportierte Kanäle bei Mtwo	Transportierte Kanäle bei ProTaper	Richtung der Transp.	p Werte
1mm	---	6%	22%	AK	0,021
1mm	2%	6%	---	AK	n.s.
1mm	2%	---	22%	AK	0,002
3mm	---	12%	56%	AK	0,000
3mm	18,4%	12%	---	AK	n.s.
3mm	18,4%	---	56%	AK	0,000
5mm	---	16%	6%	IK	0,046
5mm	10,2%	16%	---	IK	n.s.
5mm	10,2%	---	6%	IK	n.s.
7mm	---	28%	36%	IK	n.s.
7mm	2%	28%	---	IK	0,000
7mm	2%	---	36%	IK	0,000
9mm	---	6%	30%	AK	0,004
9mm	16,3%	6%	---	AK	0,042
9mm	16,3%	---	30%	AK	n.s.
11mm	---	16%	56%	AK	0,000
11mm	22,4%	16%	---	AK	n.s.
11mm	22,4%	---	56%	AK	0,000

Tab.7: Transportation des Kanalverlaufs an den Messpunkten 1-11mm. Ein Kanal galt als transportiert (verlagert), wenn der durch die Aufbereitung entstandene Materialabtrag einer Kanalseite den der gegenüberliegenden Seite um den Faktor 3 überschritt. Die Transportation konnte entweder in Richtung der Außenkurvatur (AK) oder der Innenkurvatur (IK) erfolgen.

5.1.5. Halb-Quantitative Beurteilung der Konizitäten

Der Anteil konisch aufbereiteter Kanäle lag nach Bearbeitung mit Mtwo mit 82% signifikant ($p \leq 0,05$) über dem Wert der mit ProTaper (62%) bearbeiteten Kanäle.

Der Anteil konisch aufbereiteter Kanäle lag nach Bearbeitung mit Mtwo mit 82% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit K3 (26,5%) bearbeiteten Kanäle.

Der prozentuale Anteil konisch aufbereiteter Kanäle lag nach Bearbeitung mit ProTaper mit 62% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) über dem Wert der mit K3 (26,5%) bearbeiteten Kanäle (Tab.8).

	K3	Mtwo	ProTaper	p Werte
Konische Kanäle	---	82%	62%	0,026
	26,5%	82%	---	0,000
	26,5%	---	62%	0,001

Tab.8: Konizität des Kanalverlaufs nach Aufbereitung [Konizität = von apikal nach koronal kontinuierlich zunehmender Durchmesser des Kanals]

5.1.6. Häufigkeiten von Frakturen

5.1.6.1. Instrumentenfrakturen

Bei der Aufbereitung mit K3-Instrumenten frakturierte eine Feile.

Dies entspricht bei der Gesamtzahl von 50 aufzubereitenden Kanälen einer Gesamtfrakturnrate von 2%.

Bei der Aufbereitung mit dem ProTaper-System und dem Mtwo-System frakturierte keine der jeweils 50 angewendeten Feilen.

Die prozentualen Anteile frakturierter Feilen unterschieden sich bei den drei Systemen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

5.1.6.2. Instrumentenfraktur in Bezug zur Instrumentengröße

Bei dem K3-System frakturierte eine Feile mit der Größe ISO 35/ Taper .04. Das Instrument brach 2,8 mm von der Instrumentenspitze entfernt ab.

5.1.7. Aufbereitungszeiten

Zur Aufbereitung eines Wurzelkanals mit dem K3-System wurden im Median 11,1 min benötigt.

Zur Aufbereitung eines Wurzelkanals mit dem Mtwo-System waren im Median 9,9 min erforderlich.

Die Aufbereitung eines Wurzelkanals mit dem ProTaper-System erforderte der im Median 10,6 min.

Die durchschnittliche Aufbereitungszeit eines Kanals unterschied sich bei den drei Systemen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

5.2. Natürliche humane Zähne

Insgesamt wurden 60 natürliche Wurzelkanäle humaner Unterkiefermolaren aufbereitet. Dabei frakturierten eine ProTaper- und eine Mtwo-Feile, deren frakturierten Spitzen in den jeweiligen Kanälen stecken blieben. Somit konnten nur 58 Kanäle in die Auswertung einbezogen werden.

5. 2.1. Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen

Der Anteil in korrekter Länge aufbereiteter Kanäle (MP 0 – 2 mm), zu kurz aufbereiteter Wurzelkanäle (MP > 2 mm) und überinstrumentierter Wurzelkanäle (MP < 0 mm) unterschied sich bei allen drei Systemen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander (Tab.9).

Instrumenten-System				Signifikanz-Test
Entfernung des MP vom AF	K3	Mtwo	ProTaper	p Werte
MP 0 – 2 mm	---	95%	95%	n.s.
MP 0 – 2 mm	100%	95%	---	n.s.
MP 0 – 2 mm	100%	---	95%	n.s.
MP > 2 mm	---	0%	0%	n.s.
MP > 2 mm	0%	0%	---	n.s.
MP > 2 mm	0%	---	0%	n.s.
MP < 0 mm	---	0%	0%	n.s.
MP < 0 mm	0%	0%	---	n.s.
MP < 0 mm	0%	---	0%	n.s.

Tab.9: Beurteilung der Aufbereitungslänge anhand des im Kanal positionierten Masterpoints (MP) und seines Abstandes zum apikalen Foramen (AF). Es wurde zwischen korrekt aufbereiteten (MP 0 -2 mm von AF entfernt), zu kurz aufbereiteten (MP >2 mm) Kanälen und zu langer, über das apikale Foramen hinaus ragende Masterpoints (MP < 0 mm) unterschieden.

5.2.2. Quantitative Untersuchung zur Kanaltransportation

Am **Messpunkt 1 mm** zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) im Anteil transportierter Kanäle zwischen der Aufbereitung mit K3 (10%), Mtwo (15,8%) und ProTaper (21,1%).

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen drei Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkrümmung (AK).

Am **Messpunkt 3 mm** zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) im Anteil transportierter Wurzelkanäle zwischen der Aufbereitung mit K3 (10%), Mtwo (21,1%) und ProTaper (21,1%).

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen drei Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkrvatur (AK).

Am **Messpunkt 5mm** zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) im Anteil transportierter Wurzelkanäle zwischen der Aufbereitung mit K3 (30%), Mtwo (47,4%) und ProTaper (15,8%).

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen drei Systemen ausschließlich in Richtung der Innenkrvatur (IK).

Am **Messpunkt 7 mm** zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) im Anteil transportierter Wurzelkanäle zwischen der Aufbereitung mit K3 (20%), Mtwo (42,1%) und ProTaper (15,8%).

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen drei Systemen ausschließlich in Richtung der Innenkrvatur (IK).

Am **Messpunkt 9 mm** zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) im Anteil transportierter Kanäle zwischen der Aufbereitung mit K3 (30%), Mtwo (5,3%) und ProTaper (21,1%).

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen drei Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkrvatur (AK).

Am **Messpunkt 11 mm** zeigten sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) im Anteil transportierter Kanäle zwischen der Aufbereitung mit K3 (45%), Mtwo (15,8%) und ProTaper (26,3%) (Tab.10).

Die Kanaltransportation erfolgte bei allen Systemen ausschließlich in Richtung der Außenkrvatur (AK).

Entfernung der Messpunkte vom röntgenolog- ischem Apex	Transportierte Kanäle bei K3	Transportierte Kanäle bei Mtwo	Transportierte Kanäle bei ProTaper	Richtung der Transp.	p Werte
1mm	---	15,8%	21,1%	AK	n.s.
1mm	10%	15,8%	---	AK	n.s.
1mm	10%	---	21,1%	AK	n.s.
3mm	---	21,1%	21,1%	AK	n.s.
3mm	10%	21,1%	---	AK	n.s.
3mm	10%	---	21,1%	AK	n.s.
5mm	---	47,4%	15,8%	IK	n.s.
5mm	30%	47,4%	---	IK	n.s.
5mm	30%	---	15,8%	IK	n.s.
7mm	---	42,1%	15,8%	IK	n.s.
7mm	20%	42,1%	---	IK	n.s.
7mm	20%	---	15,8%	IK	n.s.
9mm	---	5,3%	21,1%	AK	n.s.
9mm	30%	5,3%	---	AK	n.s.
9mm	30%	---	21,1%	AK	n.s.
11mm	---	15,8%	26,3%	AK	n.s.
11mm	45%	15,8%	---	AK	n.s.
11mm	45%	---	26,3%	AK	n.s.

Tab.10: Transportation des Kanalverlaufs an den Messpunkten 1-11mm. Ein Kanal galt als transportiert (verlagert), wenn der durch die Aufbereitung entstandene Materialabtrag einer Kanalseite den der gegenüberliegenden Seite um den Faktor 3 überschritt. Die Transportation konnte entweder in Richtung der Außenkurvatur (AK) oder der Innenkurvatur (IK) erfolgen.

5.2.3. Halb-Quantitative Beurteilung der Konizitäten

Der Anteil konisch aufbereiteter Kanäle unterschied sich bei allen drei Systemen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander (Tab.11).

	K3	Mtwo	ProTaper	p Werte
Konische Kanäle	---	52,6%	35%	n.s.
	65%	52,6%	---	n.s.
	65%	---	35%	n.s.

Tab.11: Konizität des Kanalverlaufs nach Aufbereitung [Konizität = von apikal nach koronal kontinuierlich zunehmender Durchmesser des Kanals]

5.2.4. Häufigkeiten von Frakturen

Bei der Aufbereitung von 20 Kanälen mit dem ProTaper-System frakturierte eine Feile. Dies entspricht einer Frakturnrate von 5%.

Bei der Aufbereitung von 20 Kanälen mit dem Mtwo-System frakturierte eine Feile. Dies entspricht auch einer Frakturnrate von 5%.

Bei der Aufbereitung von 20 Kanälen mit dem K3-System frakturierte keine Feile. Dies entspricht einer Frakturnrate von 0%.

Die Anzahl frakturierter Feilen unterschied sich bei den drei Systemen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

5.2.5. Aufbereitungszeiten

Zur Aufbereitung eines Wurzelkanals mit dem K3-System wurden im Median 9,1 min benötigt.

Zur Aufbereitung eines Kanals mit dem Mtwo-System waren im Median 8,1 min erforderlich.

Die Aufbereitung eines Kanals mit dem ProTaper-System erforderte im Median 8,7 min.

Die durchschnittliche Aufbereitungszeit eines Kanals unterschied sich bei den drei Systemen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

6. Diskussion

6.1. Material und Methode

6.1.1. Studienmodelle artifizielle Kanäle und natürliche humane Zähne

In-vitro Untersuchungen zur Wurzelkanalaufbereitung werden sowohl an artifiziellen Wurzelkanälen in Epoxidharzprüfkörpern als auch an natürlichen Wurzelkanälen extrahierter humaner Zähne durchgeführt (Hülsmann et al., 2003). Für eine vergleichende Studie wird das Vorliegen standardisierter Versuchsbedingungen vorausgesetzt. Sowohl die Aufbereitungsinstrumente als auch die verwendeten Probekörper sollen über definierte und reproduzierbare Eigenschaften verfügen (Dummer et al., 1991). Somit bietet sich die Verwendung von industriell vorgefertigten artifiziellen Wurzelkanälen in Kunststoffblöckchen an. Mit ihnen kann eine Standardisierung hinsichtlich der Kanalgeometrie, sowie des Krümmungsradius, des Durchmessers und der Abriebeigenschaften erreicht werden (Weine et al., 1975; Pertot et al., 1995; Hülsmann et al., 2003). Natürliche Wurzelkanäle hingegen können aufgrund unterschiedlicher Mineralisation erhebliche Inhomogenitäten bezüglich ihrer Abriebeigenschaften aufweisen (Tepel et al., 1993; Hülsmann et al., 2003) und sich sehr stark in ihrer Wurzelkanalgeometrie und Dentinhärte unterscheiden. Diese Unregelmäßigkeiten erschweren bei Vergleichsstudien die Interpretation der Ergebnisse, denn es kann keine sichere Aussage darüber gemacht werden, ob die beobachteten Unterschiede auf die Aufbereitungsinstrumente selbst oder die Prüfkörper zurück zu führen sind (Tepel, 2000). Die Verwendung von extrahierten humanen Zähnen wird dennoch von einigen Autoren favorisiert (Hübscher et al., 2003; Hülsmann et al., 2003; Weiger et al., 2003), da die Härte- und Abriebeigenschaften der verwendeten Kunststoffe nicht genau mit denen des Dentins der natürlichen Zähne übereinstimmt. Die Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse auf die klinische Situation erscheint somit als limitiert.

Allerdings ist die Verwendung von artifiziellen Kanälen in Kunststoffblöckchen weit verbreitet und auch anerkannt (Pertot et al., 1995), da Vergleichstudien unter standardisierten und kontrollierten Bedingungen durchgeführt und die Aufbereitungsergebnisse direkt verglichen werden können (Schäfer et al., 1994; Thompson & Dummer, 2002a, 2002b). Aus diesem Grunde wurden bei dieser Studie sowohl artifizielle als auch natürliche humane Wurzelkanäle verwendet. Ähnlich wie bei vorausgegangenen Studien (Southard et al., 1987; Glosson et al., 1995; Short et

al., 1997; Bergmans et al., 2002; Tan & Messer, 2002) dienten ausschließlich Unterkiefermolaren als Prüfkörper, wobei nur die beiden Kanäle der mesialen Wurzel Verwendung fanden.

6.1.2. Aufbereitung der Wurzelkanäle

In vergleichbaren Studien mit anderen NiTi-Feilen Systemen wurde mit Gates-Glidden-Bohrern zu Beginn eine Kanaleingangsdarstellung bis zum Beginn des mittleren Kanaldrittels durchgeführt. Durch diese Maßnahme konnte bei der Aufbereitung von gekrümmten Wurzelkanälen die Frakturnrate von rotierenden Feilen verringert werden (Schrader et al., 1999; Roland et al., 2002). Bei unserer Studie konnte auf den Gebrauch von Gates-Glidden-Bohrern verzichtet werden, da jedes der verwendeten Systeme einen eigenen Zugangerweiterer enthielt.

Wie vom Hersteller empfohlen und in vorausgegangenen Studien (Bergmans et al., 2003; Patino et al., 2005) durchgeführt, wurden bei der Aufbereitung der artifiziellen und natürlichen Wurzelkanäle mit dem K3-System zunächst die Kanaleingänge mittels der „Orifice Openers“ (Zugangerweiterer) 25/.10 und 25/.08 dargestellt. Die nachfolgenden Instrumente wurden in der vorgeschriebenen Crown-down-Technik mit zirkulär feilenden Bewegungen (Schäfer & Florek, 2003; Schäfer & Schlingemann, 2003) angewendet. Obwohl der Hersteller bei der Aufbereitung einen Wechsel zwischen den verschiedenen Konizitäten empfiehlt und damit ebenfalls gute Ergebnisse erzielt wurden (Schäfer & Florek, 2003; Schäfer & Schlingemann, 2003), wurden bei unserer Studie ausschließlich Instrumente verwendet, die eine Konizität von 0.04 aufwiesen. Auch andere Autoren (Bergmans et al., 2003; Ayar & Love, 2004; Patino et al., 2005) wichen von der empfohlenen Sequenz ab und verwendeten stattdessen ausschließlich Instrumente einer Konizität.

Die Feilen des ProTaper-Systems wurden gemäß den Herstellerangaben verwendet. Dabei dienten die SX- und die S1 Feile als Kanalerweiterer, um das Aufbereiten der gekrümmten Kanalabschnitte zu erleichtern (Clauder, 2003; Calberson et al., 2004). Auch bei diesem System wurde zunächst im Sinne der „Crown-down-Technik“ aufbereitet, wobei die S-Feilen mit zirkulär feilenden Bewegungen verwendet wurden (Blum et al., 2003; Schäfer & Vlassis, 2004a, 2004b). Die endgültige Formgebung fand durch die F-Feilen statt, die nicht länger als 1 s rotierend in den Kanal auf volle

Arbeitslänge eingeführt wurden (Baumann, 2001; Yun & Kim, 2003; Iqbal et al., 2004). Da bei dieser Studie die Aufbereitung an der Wurzelspitze bis ISO 35 durchgeführt werden sollte, wurde als abschließende Feile bei der ProTaper-Sequenz ein ProFile-Instrument ISO 35/.06 verwendet (Clauder, 2003). So war ein Vergleich der Systeme möglich.

Bei der Aufbereitung mit dem Mtwo-System diente die sogenannte „Intro File“ als Kanaleingangerweiterer. Die darauf folgenden Feilen wurden alle in voller Arbeitslänge nach der „Single-length-Technik“ in die Kanäle eingebracht. Die Kanalwände wurden mit zirkulär feilenden Bewegungen und unter leichtem Druck bearbeitet, da sich hierbei ein gleichmäßiger Abtrag der Kanalwand erzeugen lässt (Malagnino et al., 2004).

Die vom Behandler gemessenen Aufbereitungszeiten sind als Richtwerte zu sehen. In den Vorversuchen zeigte sich, dass sich die Aufbereitungszeiten der verschiedenen Systeme nicht signifikant unterschieden.

6.1.3. Auswertungen

Die Auswertungskriterien wurden anhand von Vorversuchen und Bildbeispielen definiert. Die Endoblöckchen und natürlichen Zähne wurden vor der Aufbereitung randomisiert in die drei Gruppen eingeteilt. Die Auswertungen wurden nicht nach Gruppenzugehörigkeit, sondern anhand einer Liste durchgeführt, auf der die Blöckchen und Zähne nach Nummern sortiert waren. Dadurch konnten keine Rückschlüsse auf das jeweils verwendete Aufbereitungssystem während der Auswertung gezogen werden.

6.1.3.1. Beurteilung der Kanal-Morphologie

In vergleichbaren vorausgegangenen in-vitro Studien, hat es sich bewährt, die Wurzelkanäle auf das Vorhandensein von charakteristischen Aufbereitungsfehlern zu untersuchen (Schäfer et al., 1994; Luiten et al., 1995; Griffiths et al., 2000; Peters, 2004; Veltri et al., 2005).

Besonders bei der Aufbereitung von stark gekrümmten Kanälen wurden vermehrt Aufbereitungsfehler beobachtet (Schäfer & Vlassis, 2004; Song et al., 2004). Bedingt durch das Rückstellbestreben eines weniger flexiblen Instrumentes in einem gekrümmten Kanal, kommt es besonders im unteren Kanaldrittel zu einem unkontrollierbaren und unerwünschten Materialabtrag an der Außenkurvatur (Schäfer et al., 1994; Tan & Messer, 2002; Calberson et al., 2004). Dies birgt die Gefahr der Entstehung der typischen Aufbereitungsfehler: Verlust der Arbeitslänge, Perforation des Kanals, Trichter-(Zip), Sanduhrform (Elbow) oder eine Stufe (Ledge) (Peters, 2004).

6.1.3.2. Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen und qualitative Beurteilung der apicalen Foramina

Sjögren et al. sowie *Wu et al.* stellten bei ihren Untersuchungen fest, dass die Wahrscheinlichkeit eines Therapieerfolges bei infizierten Kanälen am höchsten ist, wenn die Wurzelfüllung 0-2 mm vor dem röntgenologischen Apex endet. Mehr als 2 mm vor dem Apex endende Wurzelfüllungen und über den Apex reichende Füllungen führen zu einer 20%ig geringeren Erfolgsrate (Sjögren et al., 1990; Wu et al., 2000). Basierend auf diesem Erkenntnis wurden die Aufbereitungslängen der Wurzelkanäle in dieser Untersuchung in drei Kategorien eingeteilt.

In ähnlichen Studien wurde nicht die Entfernung zum röntgenologischen Apex gemessen, sondern der mittlere Verlust der Arbeitslänge während der Aufbereitung ermittelt (Schäfer & Schlingemann, 2003; Iqbal et al., 2004; Schäfer & Vlassis, 2004). Dieser Wert kann aber auch auf einer Begradigung des Kanals beruhen (Schäfer & Lohmann, 2002; Veltri et al., 2005). Es bedeutet nicht zwangsläufig, dass die Kanäle nicht auf „korrekte“ Länge aufbereitet wurden.

Die Einteilung der apikalen Foramina erfolgte ebenso in drei Kategorien. Hierbei wurde der Anteil der unversehrten, der bearbeiteten und der verblockten Apices ermittelt.

Ein bearbeitetes Foramen in situ wird von einigen Autoren als negativ bewertet, da dadurch Keime in die periapikale Region verschleppt werden können und die Gefahr einer Überstopfung bei der Obturation des Kanals möglich ist; beides setzt den Therapieerfolg herab (Yusuf, 1982; Meeuwissen & Eschen, 1983; Wu et al., 2000).

Blockaden des Foramens oder des unteren Kanaldrittels treten dann auf, wenn produzierte Dentinspäne ungenügend abtransportiert werden. Es entsteht häufig ein apikaler Dentinpfropf, der einen Verlust der Arbeitslänge bewirkt und wenn er infiziertes Material enthält, gefährdet er den Erfolg der Therapie (Holland et al., 1980; Nair et al., 1990).

6.1.3.3. Quantitative Untersuchung zur Kanaltransportation und Beurteilung der Konizitäten

Bei der quantitativen Untersuchung zum Materialabtrag in Kunststoffprobekörpern haben sich in vorausgegangenen Studien digitale Bildüberlagerungsverfahren bewährt (Schäfer & Tepel 1993; Schäfer et al., 1994; Baumann & Roth, 1999; Yun & Kim, 2003; Ayar & Love, 2004). Hierbei ist es üblich, dass vor und nach der Aufbereitung der Kanäle digitale Bilder von den Wurzelkanälen angefertigt werden. Zur besseren Darstellung werden von einigen Autoren die Kanäle vor der Bearbeitung eingefärbt, beispielsweise mit Methylenblau (Yun & Kim, 2003). Um eine Reproduzierbarkeit der Aufnahmen zu gewährleisten und um eine Erhöhung der Messgenauigkeit zu erreichen, empfehlen einige Autoren die Verwendung von sogenannten Positionierungshilfen zur Fixierung der Probekörper (Briseño et al., 1991; Tepel, 2000; Calberson et al., 2004).

Kommerziell erhältliche Wurzelkanäle sind in nur einer Ebene des Raumes gekrümmt, dadurch werden bei den meisten Untersuchungen die Kanäle nur zweidimensional auf Materialabtrag hin untersucht. Um optische Verzerrungen zu vermeiden, muss die Betrachtungsebene parallel zur Krümmungsebene der Wurzelkanäle liegen (Briseño et al., 1991; Schäfer, 1998; Tepel, 2000).

Bei unserer Studie konnten durch die digitale Bildüberlagerung und einer 32fachen Vergrößerung die Materialabträge mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,016$ mm bestimmt werden, wobei die Pixelzahl der digitalen Bilddateien den limitierenden Faktor darstellte. Schäfer und Florek (2003) und Schäfer und Vlassis (2004) ermittelten Materialabträge in artifiziellen Kanälen mittels digitaler Bilder und bei einer 40fachen Vergrößerung. Sie gaben dabei eine Messgenauigkeit von $\pm 0,01$ mm an. In anderen ähnlichen Versuchen wurde bezüglich der Messgenauigkeit keine Angaben gemacht (Griffiths et al., 2000; Ayar & Love, 2004; Calberson et al., 2004).

Unterschiedliche Materialabträge an der Innen- und Außenkurvatur des Kanals führen zu Abweichungen vom originären Verlauf (Transportation). *Luiten* und Mitarbeiter stellten 1995 ein Verfahren vor, das sich gut zur Beurteilung der Transportation eines Kanals eignet: Anhand der übereinander gelagerten Bilder kann an bestimmten Messpunkten (1, 3, 5, 7, 9 und 11mm hinter Apex) der Materialabtrag an sich gegenüberliegender Kanalseiten ermittelt werden. Mit dieser Kenntnis kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob ein Wurzelkanal an einem Messpunkt als transportiert beurteilt wird.

Diese Art der Auswertung wurde auch in der vorliegenden Studie angewendet. Auch in anderen vorausgegangenen Untersuchungen wurden die Materialabträge ähnlich ermittelt, allein die Anzahl der Messpunkte in den Abschnitten des Kanals variieren (Schäfer & Tepel, 1993; Pertot et al., 1995; Baumann & Roth, 1999; Griffiths et al., 2000; Ayar & Love, 2004; Calberson et al., 2004).

Zur Ermittlung von Materialabträgen in natürlichen Wurzelkanälen wurden sehr oft übereinander gelagerte Röntgenkontrastaufnahmen eingesetzt (Southard et al., 1987; Backman et al., 1992; Luiten et al., 1995; Royal & Donnelly, 1995; Braun et al., 2003; Veltrin et al., 2005). Hierbei üblich ist die Anfertigung digitaler oder konventioneller Röntgenbilder vor und nach der Aufbereitung der Wurzelkanäle. Mehrere Autoren verwendeten Positionierungshilfen, die eine reproduzierbare Ausrichtung der Wurzelkanäle zur Bildebene ermöglichten und zu einer Erhöhung der Messgenauigkeit beitrugen (Southard et al., 1987; Braun et al., 2003; Hülsmann et al., 2003; Schäfer & Schlingemann, 2003).

Die Vorgehensweise der Überlagerung und der Auswertung der Materialabträge variieren von Autor zu Autor. So bevorzugten einige das Projizieren und Nachzeichnen der Röntgenbilder auf Papier (Southard et al., 1987; Backman et al., 1992). Dabei entstanden Zeichnungen, bei denen der ursprüngliche von dem nach Aufbereitung entstandene Kanalverlauf überlagert wurde. Der Kanal galt als transportiert oder verlagert, wenn das Abbild des aufbereiteten Kanals außerhalb des originären Kanalverlaufes lag.

In anderen Studien wurden durch überlagerte digitale Röntgenbilder die aufbereitungsbedingten Begradigungen der Kanäle erfasst (Braun et al., 2003; Schäfer & Schlingemann, 2003; Schäfer & Vlassis, 2004).

Luiten und Mitarbeiter (1995) lichteten die Wurzelkanäle jeweils vor und nach Aufbreitung auf ein und dieselben Röntgenfilme ab und digitalisierten diese. Anhand einer Maske wurden die Kanäle an bestimmten Messpunkten auf das Vorliegen von Transportationen untersucht: Es konnte eine Aussage darüber getroffen werden, ob ein Wurzelkanal an einem Messpunkt als transportiert zu bezeichnen war oder nicht, wenn die Materialabträge an sich gegenüber liegenden Kanalseiten bekannt waren. Ähnlich dieser Untersuchung wurden auch die Dentinabträge in den Studien von *Veltrin* und Mitarbeitern (2004, 2005) sowie *Iqbal* und Mitarbeitern (2004) ermittelt, wobei Vorher-/Nachher- Röntgenbilder digital überlagert wurden und der Abtrag an verschiedenen Messpunkten ausgemessen wurde. Aufgrund der hohen Aussagekraft fand eine Modifikation des von *Luiten* et al. publizierten Verfahrens Anwendung.

6.1.3.4. Instrumentenfrakturen

Bei der Anwendung von rotierenden NiTi-Feilen wird in der Literatur als Nachteil nicht selten ein erhöhtes Frakturrisiko angegeben (Dietz et al., 2000; Turpin et al., 2000). Ohne vorher äußerlich erkennbare Anzeichen treten spontan Torsions- und Biegefrakturen auf (Kazemi et al., 1996; Haïkel et al., 1998). Da in unserer Studie eine relativ kleine Fallzahl gewählt wurde und nahezu keine Frakturen auftraten, musste auf eine unterteilende Darstellung der Frakturen in Torsions- und Biegefrakturen verzichtet werden. In Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Fraktur bei der Verwendung von rotierenden NiTi-Feilen abhängig ist vom Kanaldurchmesser, der Kanalkrümmung, der Instrumentenkonizität, der ISO-Größe und der Gebrauchsdauer eines Instrumentes (Haïkel et al., 1999; Peters et al., 2001; Beer & Eggerath, 2004). Diese Zusammenhänge sollten in der Untersuchung durch die Bestimmung der Frakturraten in Bezug auf die Instrumentengröße und die Gebrauchsdauer untersucht werden, wie auch schon in vorausgegangen ähnlichen Studien (Schäfer & Florek, 2003; Calberson et al., 2004; Schäfer & Vlassis, 2004).

6.2. Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung konnten die in der Zielsetzung formulierte 1. Arbeitshypothese: „Bei der Anwendung der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System frakturieren mehr Feilen als bei der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System“ nicht bestätigen.

Die 2. Arbeitshypothese, die besagte, dass bei der Anwendung der „Crown-down-Technik“ weniger Aufbereitungsfehler entstehen würden als bei der „Single-length-Technik“ konnte ebenfalls nicht bestätigt werden.

Die 3. Arbeitshypothese: „Bei der Anwendung der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System werden mehr Kanäle überinstrumentiert als bei der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System,“ konnte anhand der ermittelten Daten bestätigt werden.

Ebenso wurde die 4. Arbeitshypothese, die besagte, die Aufbereitung mit dem K3-System würde am meisten Zeit beanspruchen, bestätigt.

6.2.1. Morphologische Beurteilung der aufbereiteten Wurzelkanäle

Zwischen den drei NiTi-Feilen-Systemen konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Stufenbildung und der Elbowformation festgestellt werden. Stufenbildungen traten bei den Systemen K3 und Mtwo gar nicht auf, bei dem ProTaper-System lag der Anteil bei 2%. Auffällig war der bei allen Systemen hohe Prozentsatz an Elbowformationen.

Mit dem ProTaper- und dem K3-System wurden sehr signifikant ($p \leq 0,01$) mehr Zipformationen produziert als mit dem Mtwo-System. Zwischen ProTaper- und dem K3-System wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Die Diskrepanz zwischen dem Mtwo-System und den anderen beiden Systemen lässt sich vielleicht durch die Geometrie der Feilen und die dadurch entstehende Flexibilität oder Steifheit erklären.

Die Mtwo-Feilen weisen innerhalb eines Instruments eine gleichbleibende Konizität auf, jedoch ist der Schneidenabstand progressiv: Er vergrößert sich von der Feilenspitze bis zum Schaft hin (Foschi et al., 2004). Dadurch sind die Instrumente sehr filigran und flexibel.

Die K3-Instrumente weisen innerhalb eines Instruments eine gleichbleibende Konizität auf, jedoch ist hier der Schneidenabstand nicht progressiv. Dadurch könnten die Feilen weniger flexibel sein als die Mtwo-Instrumente.

Die ProTaper-Feilen weisen innerhalb eines Instruments variierende Konizitäten auf, im Falle der S1-Feile sind es elf verschiedene Konizitäten von 2-11% (Clauder, 2003). Dadurch sind die Instrumente an der Spitze sehr filigran und flexibel, zum Schaft hin werden sie sehr dick und unflexibel.

In einer vorausgegangenen Studie konnte gezeigt werden, dass die Tendenz einer Wurzelkanalfeile eine Zip- oder Elbow-Formation zu erzeugen umgekehrt proportional zu ihrer Flexibilität ist (Ehrlich et al., 1989).

Es muss aber auch erwähnt werden, dass für Anfänger die Handhabung der „Crown-down-Technik“ ungewohnt und schwieriger erscheint als die Anwendung der „Single-length-Technik“, bei der alle Instrumente in voller Arbeitslänge in den Kanal eingebracht werden.

In vorausgegangenen Studien, die sich mit den Formgebungsfehlern bei der Aufbereitung mit ProTaper- und K3-Instrumenten in artifiziellen Kanälen beschäftigten, traten vergleichsweise weniger zips und elbows auf, dafür aber mehr ledges. *Schäfer* und *Florek* (2003) konnten in einer vergleichenden Studie zwischen K3- und K-Flexofile-Instrumenten keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der Zip-, Elbow- und Ledge-Formationen feststellen, weder in Kanälen mit 28° noch 35° Krümmung. *Schäfer* und *Vlassis* (2004) führten eine vergleichende Studie zwischen ProTaper- und RaCe-Instrumenten in 28° und 35° gekrümmten Kanälen durch. Auch hier konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der Zip-, Elbow- und Ledge-Formationen festgestellt werden, obwohl mehr zips und ledges durch die ProTaper-Instrumente erzeugt wurden.

Es existieren bisher keine veröffentlichten Studien, in denen Mtwo-Feilen diesbezüglich untersucht wurden.

6.2.2. Halb-Quantitative Beurteilung der Aufbereitungslängen und qualitative Beurteilung der apikalen Foramina

Bei den artifiziellen Wurzelkanälen zeigte sich bei der Aufsicht auf das Foramen apicale bei allen drei Systemen ein sehr hoher Anteil an mechanisch bearbeiteten Foramina; signifikante Unterschiede traten jedoch nicht auf. Das Mtwo System wies dabei mit 76% den höchsten Wert auf. Allerdings ragte nur bei 6% der aufbereiteten Kanäle der eingesetzte Masterpoint über das Foramen hinaus. Dieser hohe Prozentsatz (76%) an bearbeiteten Foramina mag darin begründet sein, dass bei der Bearbeitung der Kanäle mit dem Mtwo-System die Feilen sich in die Kanäle eindrehen und die Arbeitslänge somit überschritten wurde. Dieser Einschraubeffekt ist bei Feilen mit „radial lands“ geringer (Blum et al., 1999).

Obwohl der Anteil bearbeiteter Foramina so hoch war (K3 61,2%, Mtwo 76%, ProTaper 60%), zeigten die meisten Kanäle aller drei Versuchsgruppen eine korrekte Arbeitslänge, bei der die Masterpoints 0-2mm vor Apex endeten (K3 98%, Mtwo 94%, ProTaper 92%). Einzig bei den aufbereiteten Kanälen mit ProTaper wurden 8% der Kanäle zu kurz aufbereitet. In einer vergleichbaren Studie, die 2004 von Schäfer und Vlassis durchgeführt wurde, zeigte sich ein ähnliches Ergebnis. Sie verglichen die Aufbereitung von artifiziellen Kanälen, wobei das ProTaper- und das RaCe-System verwendet wurden. Bei der Anwendung der ProTaper-Instrumente traten signifikant mehr Verluste der Arbeitslänge auf als bei der Anwendung der RaCe-Instrumente.

Bei allen drei Versuchsgruppen zeigte sich nur ein geringer Anteil an verblockten Kanälen. Dies könnte darauf hin weisen, dass sich die „Single-length-Technik“ in Bezug auf den Abtransport von Späne nicht unterscheidet von der „Crown-down-Technik“.

Die Ergebnisse dieser Studie decken sich mit denen aus vorangegangenen Studien, bei denen auch nur geringe Veränderungen der Arbeitslängen im Umgang mit NiTi-Wurzelkanalfeilen auftraten (Kum et al., 2000; Thompson & Dummer, 2000a; Schäfer & Lohmann, 2002a; Schäfer & Florek, 2003). Fraglich ist, ob diese geringen Veränderungen der Arbeitslänge, die bei dieser Untersuchung festgestellt wurden von klinischer Relevanz sind.

Im Falle der natürlichen Wurzelkanäle konnten bei der Betrachtung der Aufbereitungslängen bei den drei Systemen auch keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bei allen Wurzelkanälen konnten die eingebrachten Masterpoints den gewünschten Abstand von 0-2 mm zum Apex erreichen.

In vergleichbaren Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung natürlicher Zähne wurden ähnliche Ergebnisse bezüglich der Aufbereitungslängen festgestellt. *Schäfer* und *Vlassis* (2004) verglichen ProTaper mit RaCe Instrumenten, wobei bei den aufbereiteten Kanälen geringe Arbeitslängenverluste auftraten, sich die Werte jedoch nicht signifikant unterschieden. *Schäfer* und *Schlingemann* (2003) konnten bei dem Vergleich K3- Feilen vs. K-Flexofiles keine gravierende Arbeitslängenverluste feststellen, ebenso *Iqubal* et al. (2004), die Untersuchungen mit ProTaper und ProFile Instrumenten durchführten.

Veltri et al. (2005) berichten über keinen signifikanten Arbeitslängenverlust bei der Aufbereitung mit Mtwo- und Endoflare-Hero Shaper-Feilen.

6.2.3. Quantitative Untersuchung zum Materialabtrag und zur Kanaltransportation

Transportationen der aufbereiteten Wurzelkanäle konnten in allen drei Versuchsgruppen der artifiziellen und der natürlichen Kanäle festgestellt werden. Dabei fand die Transportation bei allen drei Systemen an den jeweiligen Messpunkten stets nur in eine, für den Messpunkt typische Richtung statt: Bei den Messpunkten 1mm, 3 mm, 9mm und 11 mm zur äußeren Kurvatur und bei den Punkten 5 mm und 7 mm zur inneren Kurvatur hin.

Dabei zeigte sich, dass der Anteil von transportierten Kanälen bei ProTaper und K3 im apikalen und koronalen Teil höher war als im mittleren Drittel, während bei dem Mtwo-System dies der umgekehrte Fall war. Hier lag der Anteil an Transportationen im mittleren Kanaldrittel höher als in den anderen Kanaldritteln.

Bei Betrachtung der Konizitäten der aufbereiteten Kanäle wurde der originäre Verlauf der Kanäle mit den Mtwo-Feilen in den meisten Endoblockchen beibehalten, ebenso mit den ProTaper-Feilen. Auffällig war der mit 26,5% geringe Anteil konischer Kanäle nach der Aufbereitung mit den K3-Feilen.

Im Falle der natürlichen Wurzelkanäle wiesen 65% der K3-Kanäle nach Aufbereitung eine konische Form auf, in der Mtwo-Gruppe 52,6% der Kanäle. Der Anteil konischer Kanäle nach der Aufbereitung mit ProTaper-Feilen war mit 35% auffallend gering.

In vorausgegangenen Studien wurde mehrfach demonstriert, dass NiTi-Feilen eine formerhaltende Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle ermöglichen (Baumann & Roth, 1999; Kum et al., 2000; Thompson & Dummer, 2000a, 2000b). Jedoch wurde auch immer wieder beobachtet, dass besonders im apikalen Drittel der Kanäle vermehrt Material an der äußeren Krümmung abgetragen wurde (Schäfer et al., 1994; Pertot et al., 1995; Griffiths et al., 2000).

Bei Untersuchungen von Ayar und Love (2004) und Schäfer und Florek (2003) mit K3-Instrumenten wurde auch deutlich, dass mit dem vermehrten Abtrag an der Außenkrümmung des apikalen Drittels ein geringer Abtrag, bis gar kein Abtrag an der Innenkrümmung einhergeht. Diese Beobachtung stimmt auch mit den Ergebnissen einer Studie von Peters et al. (2001) überein, bei der 35% der Kanaloberfläche unverändert blieb nach Aufbereitung.

Yun & Kim (2003) verglichen den Kanalabtrag von ProTaper-Feilen mit drei weiteren maschinellen NiTi-Systemen (ProFile, GT Rotary, Quantec). Sie fanden heraus, dass die ProTaper-Feilen den größten Materialabtrag verursachten, besonders allerdings an der Innenseite der Kanäle. Zu diesem Ergebnis kam auch Calberson (2004) bei seiner Studie über das ProTaper-System. Jedoch zeigt sich in beiden Studien, dass Transportationen im apikalen Drittel nach außen, im mittleren Drittel nach innen und im koronalen Drittel wieder nach außen statt fanden.

Bergmans et al. (2003) konnten in ihrer Untersuchung bezüglich des Materialabtrages in natürlichen Wurzelkanälen zwischen dem ProTaper und dem K3-System auch keinen statistischen Unterschied feststellen. Beide Systeme wiesen einen begründenden Charakter auf, wobei die ProTaper-Feilen besonders im oberen Drittel der Kanäle mehr von Innen wegnahmen und die K3-Feilen im apikalen Drittel an der Außenkrümmung auffällig viel abtrugen.

Iqbal et al. (2004) verglichen den apikalen Materialabtrag in natürlichen Wurzelkanälen von ProTaper- und ProFile-Instrumenten. Sie berichten von nur geringen Transportationen bei beiden Systemen, wobei ProTaper weniger Material abtrug als ProFile.

Veltri et al. (2005) führten eine vergleichende Studie mit Mtwo- und Endoflare-Hero-Feilen durch. Sie konnten gar keine Transportation feststellen, sondern beide

Systeme arbeiteten sehr zentriert in den Kanälen, sie behielten die Symmetrie und den originalen Verlauf der Kanäle bei, besonders im apikalen Drittel.

6.2.4. Frakturen von Instrumenten

Die Frakturnraten fielen bei allen drei Systemen gering aus. Beim ProTaper- und dem Mtwo-System traten bei der Aufbereitung der artifiziellen Kanäle gar keine Frakturen auf, beim K3-System frakturierte eine Feile der ISO Größe 35/.04 2,8 mm von der Instrumentenspitze entfernt.

Bei der Aufbereitung der natürlichen Kanäle frakturierte von den ProTaper-Feilen eine Shaping-Feile (S1) 6mm entfernt von der Instrumentenspitze. Ebenso brach eine Mtwo-Feile der ISO Größe 10/.04 einen Millimeter von der Instrumentenspitze entfernt ab.

Das Ergebnis dieser Studie deckt sich mit denen aus vorausgegangenen Untersuchung mit ProTaper- und K3- Feilen, bei denen gar keine Frakturen auftraten (Schäfer & Florek, 2003; Yun & Kim, 2003; Ayar & Love, 2004; Iqbal et al., 2004), oder sehr geringe Frakturnraten festzustellen waren (Schäfer & Schlingemann, 2003; Calberson et al., 2004; Schäfer & Vlassis, 2004).

Auch bei einer Untersuchung mit dem Mtwo-System (Veltri et al., 2005) konnten keine Frakturen verzeichnet werden.

Das Ergebnis konnte erzielt werden, indem sich der Operateur bei der Aufbereitung der Kanäle an die Anweisungen der Hersteller gehalten hat, Chelatoren verwendet wurden und ein drehmomentbegrenzter Mikromotor zum Einsatz kam.

In vergleichbaren Studien mit anderen maschinellen NiTi-Systemen, bei denen mehrere Operateure, z.B. Studierende, artifizielle Wurzelkanäle aufbereiteten, zeigte sich, dass die Instrumentenfrakturrate stark von dem jeweiligen Behandler abhängig ist (Mandel et al., 1999; Yared et al., 2002; Sonntag et al., 2003).

6.2.5. Aufbereitungszeiten

Die Aufbereitung eines Wurzelkanals wurde mit den K3-Feilen durchschnittlich nach 11,1 min bei den artifiziellen, bzw. 9,1 min bei den natürlichen Kanälen, mit den Mtwo-Feilen nach 9,9 min, bzw. 8,1 min und den ProTaper-Feilen nach 10,6 min, bzw. 8,7 min abgeschlossen.

Ursache für dieses Ergebnis könnte die Anzahl der zu benutzenden Feilen sein. So wurden bei dem K3-System insgesamt 16 Arbeitsschritte benötigt, um den Wurzelkanal bis zum Apex auf die gewünschte ISO-Größe 35 aufzubereiten, bei dem Mtwo-System nur 6 und bei dem ProTaper-System 8 Arbeitsschritte.

Die gemessenen Aufbereitungszeiten aller drei Systeme sind länger als die bei ähnlichen Untersuchungen in der Literatur angegebenen Werte.

Schäfer und *Florek* (2003) berichten von einer durchschnittlichen Aufbereitungszeit von 6,92 min mit dem K3-System und von 13,34 min mit manuellen K-Flexfiles bei der Aufbereitung von 28° gekrümmten Kanälen. *Schäfer* und *Vlassis* (2004) verglichen das ProTaper- mit dem RaCe-System sowohl bei artifiziellen als auch natürlichen Kanälen und stellten eine durchschnittliche Aufbereitungszeit von 6,30 min, bzw. 6,48 min mit den ProTaper-Feilen und von 5,52 min, bzw. 6,32 min mit den RaCe-Feilen bei der Aufbereitung von 35° gekrümmten Kanälen fest.

Schäfer und *Schlingemann* (2003) berichten von einer durchschnittlichen Aufbereitungszeit von 7,21 min mit dem K3-System bei der Aufbereitung von gekrümmten Kanälen.

In Studien über andere maschinelle NiTi-Systeme wurden auch stets kürzere Aufbereitungszeiten bei artifiziellen (Griffiths et al., 2000; Kum et al., 2000; Schäfer & Lohmann, 2000a; Schäfer, 2001; Hata et al., 2002) und bei natürlichen Kanälen (Glosson et al., 1995; Short et al., 1997; Schäfer & Lohmann, 2002b; Hülsmann et al., 2003) ermittelt. Allerdings wurden bei allen Untersuchungen die Aufbereitungen entweder von erfahrenen Behandlern durchgeführt (Schäfer & Lohmann, 2000a,b), oder es wurden keine näheren Angaben über die Erfahrung der Behandler gemacht (Kum et al., 2000).

Bei der vorliegenden Studie führte ein weniger erfahrener Behandler die Wurzelkanalaufbereitungen durch, der sich genauestens an die Herstellerangaben hielt. In Anlehnung an die klinische Situation wurde stets zwischen den einzelnen Feilen mit 1ml Wasser - bei den artifiziellen Kanälen- oder 3,5% NaOCl - bei den

natürlichen Kanälen- gespült, um Dentinspäne und Pulpagewebe zu entfernen (Saunders & Saunders 1992; Royal & Donnelly, 1995; Schäfer et al., 2004).

6.3. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen für die Wurzelkanalaufbereitung in der Praxis folgende Schlüsse zu:

- Die „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System ist eine mögliche Alternative zu der bisher üblich angewandten „Crown-down-Technik“ anderer Systeme.
- Das Risiko des Auftretens charakteristischer Aufbereitungsfehler scheint bei allen drei untersuchten Systemen nicht signifikant unterschiedlich zu sein.
- Durch sachgemäßen Umgang mit den Feilensystemen (Beachtung der Herstelleranweisungen, Verwendung von Chelatoren und Drehmoment begrenzter Mikromotoren) kann die Frakturnrate der NiTi-Feilen ausgesprochen gering gehalten werden.

7. Zusammenfassungen

7.1. Zusammenfassung für das Rigorosum

Untersuchung zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden NiTi Instrumenten, [In-vitro]

Ott, M.

Problem: Bei der Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle gewinnt die Anwendung von rotierenden Nickel-Titan-Feilen immer mehr an Bedeutung.

Ziel: In dieser Studie soll der Formerhalt von stark gekrümmten Wurzelkanälen nach Aufbereitung mit drei verschiedenen NiTi-Systemen untersucht werden.

Material und Methode: Die Systeme K3 und ProTaper greifen auf die „Crown-down-Technik“, das System Mtwo auf die „Single-length-Technik“ zurück. Für die Untersuchung werden 150 artifizielle sowie 60 natürliche Wurzelkanäle humaner Unterkiefermolaren in drei Gruppen mit dem jeweiligem System aufbereitet. Die Kanäle werden bezüglich der Kanalmorphologie, Aufbereitungslänge, Instrumentenfrakturen und Aufbreitungszeit untersucht.

Ergebnisse: Bei der Aufbereitung treten bei der Anwendung des ProTaper- und des K3-Systems sehr signifikant ($p \leq 0,01$) mehr Zip-Konfigurationen auf als beim System Mtwo. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Elbow- und Ledge-Konfigurationen. K3 und Mtwo weisen den niedrigsten Anteil transportierter Kanäle vor. Es können keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Einhaltens der Arbeitslänge, der Unversehrtheit des apikalen Foramens sowie der Instrumentenfrakturen festgestellt werden. Die durchschnittlichen Aufbreitungszeiten der drei Systeme unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$) von einander.

Schlussfolgerung: Die Untersuchung zeigte, dass mit allen drei maschinell angetriebenen Systemen eine formerhaltende und sichere Aufbereitung möglich ist.

Problemstellung

Die Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle stellt eine Herausforderung für den Behandler dar. Herkömmlich verwendete manuelle Edelstahlfeilen tendieren aufgrund ihrer geringen Flexibilität dazu, Veränderungen der Kanalgeometrie, wie z.B. eine Trichter- oder Sanduhrform in Apexnähe, eine Stufenbildung oder eine Transportation des Kanalverlaufes hervor zu rufen. Hinzu kommt der hohe Zeitaufwand, der mit einer manuellen Aufbereitung einhergeht.

Rotierende Nickel-Titan-Feilen besitzen eine weitaus höhere Flexibilität als Edelstahlinstrumente, wodurch Formabweichungen der Kanäle reduziert werden.

Es existieren unterschiedliche NiTi-Aufbereitungssysteme. Die Systeme unterscheiden sich bzgl. ihrer Geometrie und Anwendungsweise. Gemeinsam ist den meisten Systemen die Vorgehensweise der „Crown-down-Technik“, der koronal-apikalen Aufbereitung des Kanalsystems. Neu auf dem Markt ist das Mtwo-System,

welches sich der „Single-length-Technik“ bedient, bei der der Kanal von Anfang an in voller Arbeitslänge aufbereitet wird. Dieses neue Vorgehen ist bisher nur wenig untersucht worden. Formveränderungen und Transportationen sowie Frakturgefahr der Feilen müssen im Vergleich zur Aufbereitung mit der „Crown-down-Technik“ eingehender evaluiert werden.

Zielsetzung

Es soll eine vergleichende in-vitro Untersuchung zur Prozess- und Ergebnisqualität drei verschiedener NiTi-Systeme, die in der „Crown-down-Technik“ oder in der „Single-length-Technik“ angewandt werden, durchgeführt werden.

Arbeitshypothesen

Folgende vier Arbeitshypothesen sollen überprüft werden:

1. Bei der Anwendung der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System frakturieren mehr Feilen als bei der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System.
2. Bei der Anwendung der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System entstehen weniger Aufbereitungsfehler (Transportation, Zip, Elbow, Ledge) als bei der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System.
3. Bei der Anwendung der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System werden mehr Kanäle überinstrumentiert als bei der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System.
4. Sowohl die Aufbereitung eines Kanals mit Mtwo als auch die mit ProTaper nehmen weniger Zeit in Anspruch als die Aufbereitung mit K3, da bei diesem System am meisten Feilen verwendet werden.

Material und Methode und Statistik

Es werden 150 standardisierte artifizielle Wurzelkanäle in Epoxidharzblöckchen und 60 natürliche Wurzelkanäle mesialer Wurzeln von Unterkiefermolaren aufbereitet. Die Wurzelkanäle werden randomisiert in drei Gruppen eingeteilt und mit dem jeweiligem NiTi-System (K3, Mtwo, ProTaper) nach Herstellerangaben aufbereitet. Zur Erstellung von Überlagerungsbildern werden die artifiziellen Wurzelkanäle jeweils vor und nach ihrer Aufbereitung digital fotografiert und die natürlichen Kanäle digital geröntgt. Anhand dieser Bilddateien können die Kanäle bezüglich charakteristischer Aufbereitungsfehler (Elbow, Zip, Ledge und Transportationen) untersucht werden. Die artifiziellen Kanäle werden in Bezug auf die Aufbereitungslängen und die

Kanalapices unter dem Auflichtmikroskop untersucht. Bei den natürlichen Kanälen werden die Aufbereitungslängen mittels der kalibrierten Röntgenbilder überprüft. Die digitalen Überlagerungsbilder dienen der quantitativen Untersuchung des Materialabtrages bzw. der Kanaltransportation (Verlagerung des Kanalverlaufs nach Aufbereitung im Vergleich zum ursprünglichen Kanal).

Statistik:

Die statistische Auswertung der erhobenen Werte erfolgt mit dem Statistikprogramm SPSS® 12.0. Die Daten der Gruppen werden gegeneinander getestet. Dabei werden die Daten der artifiziellen und natürlichen Zähnen getrennt voneinander bewertet.

Die Daten der intervallskalierten Werte (Transportation des Kanalverlaufs, Materialabtrag und Aufbereitungszeit) werden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Diesem Test entsprechend erfolgt die weitere Auswertung mit dem nichtparametrischen U-Test nach Mann und Whitney oder dem parametrischen T-Test zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben.

Bei der Auswertung der nominal- bzw. ordinalskalierten Werte (Aufbereitungsfehler, Aufbereitungslängen, Apices und Instrumentenfrakturen) wird der Chi-Quadrat-Test angewendet. Wird bei dem Test ein signifikanter Unterschied festgestellt, so erfolgt eine Spezifizierung der Einzelwerte durch die standardisierten Residuen.

Ergebnisse

Die 1. Arbeitshypothese, wonach bei der Anwendung der „Single-length-Technik“ mit dem Mtwo-System mehr Feilen frakturieren würden als bei der „Crown-down-Technik“ mit dem K3- und ProTaper-System, konnte nicht bestätigt werden. Es frakturierte bei der Aufbereitung der artifiziellen Kanäle eine Feile des K3-Systems und bei Aufbereitung der natürlichen Kanäle eine ProTaper- und eine Mtwo-Feile.

Die 2. Arbeitshypothese, dass bei Anwendung der „Crown-down-Technik“ weniger Aufbereitungsfehler (Transportationen, Zip, Elbow, Ledge) als bei der „Single-length-Technik“ entstehen, konnte ebenfalls nicht bestätigt werden. Bei Aufbereitung der artifiziellen Kanäle traten bei Anwendung des Mtwo-Systems mit 20% sehr signifikant ($p \leq 0,01$) weniger Zips auf, als bei Verwendung von ProTaper (50%) und K3 Instrumenten (46,9%).

Die Werte für die morphologischen Kriterien „Elbow“ und „Ledge“ unterschieden sich bei allen drei Systemen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander.

Die ermittelten Daten der artifiziellen und der natürlichen Wurzelkanäle zum Materialabtrag und zur Kanaltransportation wiesen deutliche Unterschiede auf. Bei

Aufbereitung der artifiziellen Kanäle wiesen die prozentualen Anteile transportierter Kanäle signifikante ($p \leq 0,05$) bis höchst signifikante ($p \leq 0,001$) Unterschiede auf: Das ProTaper-System verursachte im apikalen Drittel und im koronalen Drittel Transportationen, das Mtwo-System überwiegend im mittleren Drittel. Die mit dem Mtwo-System aufbereiteten Kanäle wiesen mit 82% höchst signifikant ($p \leq 0,001$) mehr Konizitäten auf gegenüber den Kanälen des K3-Systems (26,5%) und signifikant ($p \leq 0,05$) gegenüber denen des ProTaper-Systems (62%).

Bei der Aufbereitung der natürlichen Kanäle unterschieden sich die prozentualen Anteile transportierter Kanäle der drei Systeme nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander. Die Werte der Konizitäten wiesen keine signifikanten ($p > 0,05$) Unterschiede auf.

Die 3. Arbeitshypothese, wonach bei der „Single-length-Technik“ mehr Kanäle überinstrumentiert werden würden als bei der „Crown-down-Technik“, konnte bestätigt werden. Zwar unterschieden sich die prozentualen Anteile bearbeiteter Foramina bei den artifiziellen Kanälen nicht signifikant ($p > 0,05$) voneinander, jedoch wies die Mtwo-Gruppe mit 76% gegenüber der K3-Gruppe mit 61,2% und der ProTaper-Gruppe mit 60% den höchsten prozentualen Anteil akzidentiell eröffneter Foramina auf. Bezüglich der Aufbereitungslänge konnten sowohl bei Aufbereitung der artifiziellen als auch der natürlichen Kanäle keine signifikanten ($p > 0,05$) Unterschiede festgestellt werden. Der Anteil korrekt aufbereiteter Kanäle war bei beiden Versuchen mit durchschnittlich 95% sehr hoch.

Die 4. Arbeitshypothese: die Aufbereitung mit dem K3-System nimmt im Vergleich zu den beiden anderen Systemen die meiste Zeit in Anspruch, konnte bestätigt werden. Bei Aufbereitung der artifiziellen und natürlichen Kanäle lag der durchschnittliche Zeitaufwand für die Aufbereitung mit dem K3-System (11,06 und 9,10 min) über denen der beiden anderen Systeme (Mtwo: 9,86 und 8,11; ProTaper: 10,58 und 8,74).

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser in-vitro Studie zeigen, dass das Mtwo-System mit der „Single-length-Technik“ eine mögliche Alternative zu den Systemen, die in der „Crown-down-Technik“ verwendet werden, darstellt. Mit allen drei maschinellangetriebenen Systemen ist eine formerhaltende und sichere Aufbereitung möglich.

7.2. deutsches Abstract

In-vitro Untersuchung zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden NiTi Instrumenten

Zusammenfassung

Ott, M.

Problem: Bei der Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle gewinnt die Anwendung von rotierenden Nickel-Titan-Feilen immer mehr an Bedeutung.

Ziel: In dieser Studie soll der Formerhalt von stark gekrümmten Wurzelkanälen nach Aufbereitung mit drei verschiedenen NiTi-Systemen untersucht werden.

Material und Methode: Die Systeme K3 und ProTaper greifen auf die „Crown-down-Technik“, das System Mtwo auf die „Single-length-Technik“ zurück. Für die Untersuchung werden 150 artifizielle sowie 60 natürliche Wurzelkanäle humaner Unterkiefermolaren in drei Gruppen mit dem jeweiligem System aufbereitet. Die Kanäle werden bezüglich der Kanalmorphologie, Aufbereitungslänge, Instrumentenfrakturen und Aufbreitungszeit untersucht.

Ergebnisse: Bei der Aufbereitung treten bei der Anwendung des ProTaper- und des K3-Systems sehr signifikant ($p \leq 0,01$) mehr Zip-Konfigurationen auf als beim System Mtwo. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Elbow- und Ledge-Konfigurationen. K3 und Mtwo weisen den niedrigsten Anteil transportierter Kanäle vor. Es können keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Einhaltens der Arbeitslänge, der Unversehrtheit des apikalen Foramens sowie der Instrumentenfrakturen festgestellt werden. Die durchschnittlichen Aufbreitungszeiten der drei Systeme unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$) von einander.

Schlussfolgerung: Die Untersuchung zeigte, dass mit allen drei maschinell angetriebenen Systemen eine formerhaltende und sichere Aufbereitung möglich ist.

7.3. englisches Abstract

In-vitro study of root canal preparation with rotary NiTi-Instruments

Abstract

Ott, M.

Problem: Rotary Nickel-Titanium files have become an important part of the preparation of severely curved root canals.

Aim: The result of rotary root canal preparation with three different nickel-titanium (NiTi) systems shall be examined.

Methodology: The System K3 and ProTaper fall back on the "crown-down-technique", the system Mtwo falls back on the "single-length-technique". One hundred and fifty curved artificial root canals and sixty mesial canals of human mandibular molars are divided into three groups and prepared. Canal shape, preparation length, incidence of instrument fractures and preparation time are investigated.

Results: Canals prepared with ProTaper and K3 show very significantly ($p \leq 0,01$) more zips than Mtwo. There are no significant differences in ledge and elbow formation. Preparations with K3 and Mtwo have the lowest percentage of canal transportation. Canals prepared with K3 are highly significant ($p < 0.001$) less tapered than ProTaper and Mtwo. There are neither significant differences regarding the preparation length nor the condition of the apical foramina following the preparation. No significant differences in instrument fractures are found. The mean times required for the preparation with the three systems do not significantly ($p > 0,05$) differ.

Conclusion: The study shows that all three rotary systems(K3, ProTaper, Mtwo) can be used for a form keeping and save preparation.

8. Literaturverzeichnis

Andreasen G.F.; Morrow R.E.

Laboratory and clinical analysis of nitinol wire.

Am J Orthod 73, 142-151 (1978)

Ayar L.R.; Love R.M.

Shaping ability of ProFile and K3 rotary Ni-Ti instruments when used in a variable tip sequence in simulated curved root canals.

Int Endod J 37, 593-601 (2004)

Backmann C.A.; Oswald R.J.; Pitts D.L.

A radiographic comparison of two root canal instrumentation techniques.

J Endod 18, 19-24 (1992)

Baumann M.A.

ProTaper- eine neue Generation von NiTi-Feilen.

Endodontie 10, 351-364 (2001)

Baumann M.A.; Roth A.

Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 88, 714-718 (1999)

Beer R.; Biewald D.; Kiene J.

Reinigung gekrümmter Wurzelkanäle mit Nickel-Titan-Feilen.

ZWR 114, 132-138 (2005)

Beer R.; Eggerath J.

Dynamisches Frakturverhalten maschineller Instrumente in gekrümmten Wurzelkanälen.

ZWR 113, 549-552 (2004)

Bergmanns L.; Van Cleynenbreugel J.; Wevers M.; Lambrechts P.

Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: Rationale, performance and safety Status Report for the American Journal of Dentistry. Am J Dent 14, 324-333 (2001)

Bergmans L.; Van Cleynenbreugel J.; Beullens M.; Wevers M.; Van Meerbeek B.; Lambrechts P.

Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. Int Endod J 36, 288-295 (2003)

Blum J.Y.; Cohen A.; Machtou P.; Micallef J.P.

Analyses of forces developed during mechanical preparation of extracted teeth using ProFile NiTi rotary instruments. Int Endod J 32, 24-31 (1999)

Blum J.Y.; Machtou P.; Ruddle C.; Micallef J.P.

Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: Value of the safety quotient. J Endod 29, 567-575 (2003)

Bramante C.M.; Berbert A.; Borges R.P.

A methodology for evaluation of root canal instrumentation. J Endod 13, 243-245 (1987)

Braun A.; Schüttlöffel M.E.; Frentzen M.

Wurzelkanalbegradigung durch die Aufbereitung mit rotierenden NiTi-Systemen. Dtsch Zahnärztl Z 58, 42-45 (2003)

Briseño B.M.; Sonnabend E.

The influence of different canal instruments on root canal preparation - an in vitro study. Int Endod J 24, 15-23 (1991)

Bühl A.; Zöfel P.

SPSS Version 10.0.

Addison Wesley Verlag München (2000)

Calberson F.L.G.; Deroose C.A.J.G.; Hommez G.M.G.; De Moor R.J.G.

Shaping ability of ProTaper nickel-titanium files in simulated resin root canals.

Int Endod J 37, 613-623 (2004)

Chow D.Y.; Stover S.E.; Bahcall J.K.; Jaunberzins A.; Toth J.M.

An vitro comparison of the rake angles between K3 and ProFile endodontic file systems.

J Endod 31, 180-182 (2005)

Clauder Th.

Shaping mit dem ProTaper-System.

ZWR 112, 153-158 (2003)

Clem W.H.

Endodontics. The adolescent patient.

Dent Clin North Am 13, 483-493 (1969)

Dietz D.B.; Di Fiore P.M.; Bahcall J.K.; Latenschläger E.P.

Effect of rotational speed on the breakage of nickel titanium rotary files.

J Endod 26, 68-71 (2000)

Dummer P.M.; Alodeh M.H.A.; Al-Omari M.A.O.

A method for the construction of simulated root canals in clear resin blocks.

Int Endod J 24, 63-66 (1991)

Ehrlich D.; Boyer T.J.; Hicks L.; Pelleu G.B. Jr.

Effects of sonic instrumentation on the apical preparation of curved canals.

J Endod 15, 200-203 (1989)

Esposito P.T.; Cunningham C.J.

A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments.

J Endod 21, 173-176 (1995)

Fava L.R.G.

The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation.

J Endod 9, 76-80 (1983)

Filho I.B.; Esberard R.M.; De Toledo Leonardo R.; Del Rio C.E.

Microscopic evaluation of three endodontic files pre- and postinstrumentation.

J Endod 24, 461-464 (1998)

Foschi F.; Nucci C.; Montebugnoli L.; Marchionni S.; Breschi L.; Malagnino A.; Prati C.

SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments.

Int Endod J 37, 832-839 (2004)

Gambarini G.

Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation.

Endod Dent Traumatol 16, 95-100 (2000)

Garip Y.; Gunday M.

The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals.

Int Endod J 34, 452-457 (2001)

Glosson C.R.; Haller R.H.; Dove S.B.; del Rio C.E.

A comparison of root canal preparations using NiTi hand, NiTi engine-driven, and K-Flex endodontic instruments.

J Endod 21, 146-151 (1995)

Gluskin A.H.; Brown D.C.; Buchanan L.S.

A reconstructed computerized tomographic comparison of NiTi-rotary GT-files vs. traditional instruments in canals shaped by novice operators.

Int Endod J 34, 476-484 (2001)

Goering A.C.; Michelich R.J.; Schultz H.H.

Instrumentation of root canals in molar using the Step-down technique.

J Endod 8, 550-554 (1982)

Griffiths I.T.; Bryant S.T.; Dummer P.M.H.

Canal shapes produced sequentially during instrumentation with Quantec LX rotary nickel-titanium instruments: a study in simulated canals.

Int Endod J 33, 346-354 (2000)

Gulabivala K.; Stock C.J.R.

Preparation of the root canal.

In: Endodontics; 2. Edition

Editors: Stock CJR, Gulabivala K, Walker R, Goodman JR

Verlag Mosby-Wolfe London (1995)

Haïkel Y.; Serfaty R.; Wilson P.; Speisser J.M.; Allemann C.

Mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment.

J Endod 24, 731-735 (1998)

Haïkel Y.; Serfaty R.; Bateman G.; Senger B.; Alleman C.

Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments.

J Endod 25, 434-440 (1999)

Hata G.; Uemura M.; Kato A.S.; Imura N.; Novo N.F.; Toda T.

A comparison of shaping ability using ProFile, GT file and Flex-R endodontic instruments in simulated canals.

J Endod 28, 316-321 (2002)

Holland R.; De Souza V.; Nery M.J.; de Mello W.; Bernabe P.F.E.; Otoboni Fiho C.D.
Tissue reactions following apical plugging of the root canal with infected dentin chips.
A histologic study in dog's teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 54, 366-369 (1980)

Hübscher W.; Barbakow F.; Peters O.A.

Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography.

Int Endod J 36, 740-747 (2003)

Hülsmann M.; Herbst U.; Schäfers F.

Comparative study of root-canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments.

Int Endod J 36, 748-756 (2003)

Ingle J.I.

A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14, 83-91 (1961)

Iqbal M.K.; Firic S.; Tulcan J.; Karabucak B.; Kim S.

Comparison of apical transportation between ProFile and ProTaper NiTi rotary instruments.

Int Endod J 37, 359-364 (2004)

Kazemi R.B.; Stenman E.; Spangberg L.S.W.

Machining efficiency and wear resistance of nickel-titanium endodontic files.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 81, 596-602 (1996)

Kum K.-Y.; Spånberg L.; Cha B.Y.; Young J.; Seung-Jong L.; Chan-Young L.

Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals.

J Endod 26, 719-723 (2000)

Lee J.H.; Park J.B.; Andreasen G.F.; Lakes R.S.

Thermomechanical study of NiTi alloys.

J Biomed Mater Res 22, 573-588 (1988)

Luiten D.J.; Morgan L.A.; Baumgartner J.C.; Marshall J.G.

A comparison of four instrumentation techniques on apical canal transportation.

J Endod 21, 26-32 (1995)

Malagnino V.; Passariello P.; Sorci E.

Preparazione endodontica dei canali ovalari: confronto fra tre tecniche.

Giornale Italiano di Endodonzia 18, 142-146 (2004)

Mandel E.; Adip-Yazid M.; Benhamou L.M.; Lachkar T.; Mesgouez C.

Rotary Ni-Ti profile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage.

Int. Endod J 32, 436-443 (1999)

Meeuwissen R.; Eschen S.

Twenty years of endodontic treatment.

J Endod 9, 390-393 (1983)

Merte K.

Die Wurzelkanalaufbereitung – handinstrumentell oder maschinell

Spitta Verlag GmbH & Co KG (2005)

Morgan L.A.; Montgomery S.

An evaluation of the crown-down pressureless technique.

J Endod 10, 491-498 (1984)

Nair P.N.R.; Sjögren U.; Krey G.; Kahnberg K.-E.; Sundqvist G.

Intraradicular bacteria and fungi in root-filled asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a longterm light and electron microscopic follow-up study. J Endod 16, 580-588 (1990)

Nehammer C.F.; Stock C.J.R.

Preparation and filling of the root canal.

Br Dent J 158, 285-291 (1985)

Patino V.; Biedma B.M.; Liebana C.R.; Cantatore G.; Bahillo J.G.

The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments.

J Endod 31, 114-116 (2005)

Parashos P.; Messer H.H.

Questionnaire survey on the use of rotary nickel-titanium endodontic instruments by Australian dentist.

Int Endod J 37, 249-259 (2004)

Pertot W.J.; Camps J.; Damiani M.G.

Transportation of curved canals prepared with canal master U, canal master U niti, and stainless steel K-type files.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 79, 504-509 (1995)

Peters O.A.

Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review.

J Endod 30, 559-567 (2004)

Peters O.A.; Peters C.I.; Schöneberger K.; Barbakow F.

ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy.

Int Endod J 36, 93-99 (2003)

Peters O.A.; Schöneberger K.; Laib A.

Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography.

Int Endod J 34, 221-230 (2001)

Pettiette M.T.; Metzger Z.; Phillips C.; Trope M.

Endodontic complications of root canal therapy performed by dental students with stainless-steel K-files and nickel-titanium hand files.

J Endod 25, 230-234 (1999)

Pruett J.P.; Clement D.J.; Carnes D.L.

Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments.

J Endod 23, 77-85 (1997)

Roane J.; Sabala C.; Duncanson M.

The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals.

J Endod 11, 203-211 (1985)

Royal J.R.; Donnelly J.C.

A comparison of maintenance of canal curvature using balanced-force instrumentation with three different file types.

J Endod 21, 300-304 (1995)

Roland D.D.; Andelin W.E.; Browning D.F.; Hsu G.-H.R.; Torabinejad M.

The effect of preflaring on the rates of separation for 0.04 Taper nickel titanium rotary instruments.

J Endod 28, 543-545 (2002)

Ruddle C.

Cleaning and shaping the root canal system.

In: Pathways of the pulp; 8th Edition

Editors: Cohen S.; Burns R.C.

Verlag Mosby Inc. St. Louis (2001)

Sattapan B.; Nervo G.J.; Palamara J.E.A.; Messer H.H.

Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use.

J Endod 26, 161-165 (2000)

Saunders W.P.; Saunders E.M.

Effect of noncutting tipped instruments on the quality of root canal preparation using a modified double-flared technique.

J Endod 18, 32-36 (1992)

Schäfer E.

Root canal instruments for manual use: a review.

Endod Dent Traum 13, 51-64 (1997)

Schäfer E

Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments stainless steel and K-Flexofiles in simulated curved root canals.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 92, 215-220 (2001)

Schäfer E

Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz. Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte.

Med Habil Univ Münster

Quintessenz Verlags GmbH Berlin (1998)

Schäfer E.; Diez C.; Hoppe W.; Tepel J.

Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth.

J Endod 23, 211-216 (2002)

Schäfer E.; Florek H.

Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.

Int Endod J 36, 199-207 (2003)

Schäfer E.; Lohmann D.

Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile-Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.

Int Endod J 35, 505-513 (2002a)

Schäfer E.; Lohmann D.

Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile- Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth.

Int Endod J 35, 514-521 (2002b)

Schäfer E.; Schlingemann R.

Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth.

Int Endod J 36, 208-217 (2003)

Schäfer E.; Schulz-Bongert U.; Tulus G.

Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study.

J Endod 30, 432-435 (2004)

Schäfer E.; Tepel J.

Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach standardisierter Aufbereitung.

Dtsch Zahnärztl Z 48, 653-658 (1993)

Schäfer E.; Tepel J.; Hoppe W.

Experimentelle Untersuchung zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit neuartigen Wurzelkanalinstrumenten.

Dtsch Zahnärztl Z 49, 311-315 (1994)

Schäfer E.; Tepel J.; Hoppe W.

Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen zur Wurzelkanalaufbereitung.

ZWR 103, 90-96 (1994)

Schäfer E.; Vlassis M.

Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.

Int Endod J 37, 229-238 (2004)

Schäfer E.; Vlassis M.

Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth.

Int Endod J 37, 239-248 (2004)

Schilder H.

Cleaning and shaping the root canal.

Dent Clin North Am 18, 269-296 (1974)

Schilder H.; Yee F.

Canal debridement and disinfection.

In: Pathways of the Pulp; 3rd Edition

Editors: Cohen S.; Burns R.C.

Verlag Mosby Inc. St. Louis (1984)

Schneider S.W.

A comparison of canal preparation in straight and curved canals.

Oral Surg Oral Med Oral Path 32, 271-275 (1971)

Schrader C.; Ackermann M.; Barbakow F.

Step-by-step description of rotary root canal preparation technique.

Int Endod J 32, 312-320 (1999)

Short J.A.; Morgan L.A.; Baumgartner J.C.

A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques.

J Endod 23, 503-507 (1997)

Sjögren U.; Hägglund B.; Sundqvist G; Wing K.

Factors affecting the long-term results of endodontic treatment.

J Endod 16, 498-504 (1990)

Song Y.L.; Bian Z.; Fan M.W.; Gutman J.L.; Peng B.

A comparison of instrument-centering ability within the root canal for three contemporary instrumentation techniques.

Int Endod J 37, 265-271 (2004)

Sonntag D.

Schneidengeometrie und Effizienz voll rotierender Nickel-Titan-Feilen.

Endodontie 12, 229-242 (2003)

Sonntag D

Single-lenght-Technik.

Endodontie 14, 36-37 (2005)

Sonntag D.; Delschen S.; Stachniss V.

Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students.

Int Endod J 36, 715-723 (2003)

Sonntag D.; Guntermann A.; Kim S.K., Stachniss V.

Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni-Ti files performed by students.

Int Endod J 36, 246-255 (2003)

Southard D.W.; Oswald R.J.; Natkin E.

Instrumentation of curved molar canals with the Roane technique.

J Endod 13, 479-489 (1987)

Tan T.B.; Messer H.H.

The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size.

J Endod 28, 658-664 (2002)

Tepel J.

Experimentelle Untersuchungen über die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

Med Habil Univ Münster

Quintessenz Verlags GmbH Berlin (2000)

Tepel J, Schäfer E; Hoppe W

Kunststoffe als Modellmaterialien in der Endodontie.

Dtsch Zahnärztl Z 48, 736-738 (1993)

Tepel J.; Schäfer E.; Hoppe W.

Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 3. Resistance to bending and fracture.

J Endod 23, 141-145 (1997)

Thompson S.A.

An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry.

Int Endod J 33, 297-310 (2000)

Thompson S.A.; Dummer P.M.H.

Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: part 1.

Int Endod J 33, 248-254 (2000a)

Thompson S.A.; Dummer P.M.H.

Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 2.

Int Endod J 33, 255-261 (2000b)

Turpin Y.L.; Chagneau F.; Vulcain J.M.

Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models.

J Endod 26, 414-417 (2000)

Veltri M.; Mollo A.; Pini P.P.; Ghelli L.; Balleri P.

In vitro comparison of ProTapers and GT Rotary files shaping abilities.

J Endod 30, 163-166 (2004)

Veltri M.; Mollo A.; Mantovani L.; Pini P.; Balleri P.; Grandini S.

A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals.

Int Endod J 38, 610-616 (2005)

Walia H.; Brantley W.A.; Gerstein H.

An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files.

J Endod 14, 346-351 (1988)

Weiger R.; Brückner M.; El Ayouti A.; Löst C.

Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files.

Int Endod J 36, 483-490 (2003)

Weine F.S.; Kelly R.F.; Lio P.J.

The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape.

J Endod 1, 255-262 (1975)

Wu M.K.; Wesselink P.R.; Walton R.E.

Apical terminus location of root canal treatment procedures.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 89, 99-103 (2000)

Yared G.M.; Dagher F.E.; Machtou P.

Failure of ProFile instruments used with high and low torque motors.

Int Endod J 34, 471-475 (2001a)

Yared G.M.; Dagher F.E.; Machtou P.

Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures.

Int Endod J 34, 47-53 (2001b)

Yun H.; Kim S.K.

A comparison of the shaping abilities of 4 nickel-titanium rotary instruments in simulated root canals.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 95, 228-233 (2003)

Yusuf H.

The significance of the presence of foreign material periapically as a cause of failure of root treatment.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 54, 566-574 (1982)

Zöfel P

Statistik verstehen. Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung.

Verlag Addison Wesley München (2001)

9. Anhang

9.1. Materialliste

Handelsname/Produkt	Hersteller/Bezugsquelle
1. Accupaque™ 240	Amersham Buchler GmbH & Co. KG D-38110 Braunschweig
2. Acer Aspire 1350	Acer Computer GmbH D-22926 Ahrensburg
3. Adobe® Photoshop®	Adobe Systems GmbH D-85716 Unterschleißheim
4. Alkohol 98%	Apotheke der Philipps-Universität D-35039 Marburg
5. Camedia® C2500L	Olympus Optical Co. Europa GmbH D-Hamburg
6. C-Pilot-Feilen	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
7. Diamant Schleifinstrument Fig.# 801.204.006	Gebr. Brasseler GmbH & Co.KG D-32631 Lemgo
8. Digora Optime®	Jordi Röntgentechnik AG D-4142 Münchenstein
9. Endo IT professional	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
10. FileCare® EDTA	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
11. Gates-Glidden-Bohrer	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
12. Guttaperchastifte	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
13. Injektionskanüle Sterican®	B. Braun Melsungen AG D-34209 Melsungen
14. Kartenleser	Transcend D-22335 Hamburg

15. K3™ NiTi-Feilen	Sybron Dental Specialities USA-92867 Orange, CA
16. Kunststoffprobekörper	Maillefer Instruments SA CH-1338 Ballaigues
17. Lichtgerät	3M ESPE D-82229 Seefeld
18. Lumocolor 318 permanent	Staedler Mars GmbH & Co.KG D-90427 Nürnberg
19. Methylenblau-Lösung 0,1%ig	Apotheke der Philipps-Universität D-35039 Marburg
20. Millimeterpapier	Herlitz PBS AG D-13507 Berlin
21. Mtwo NiTi-Feilen	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
22. Natriumhypochlorid 3,5%	Apotheke der Philipps-Universität D-35039 Marburg
23. Optosil/Xantopren-Comfort	Heraeus Kulzer GmbH D-63450 Hanau
24. Papierspitzen	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
25. ProTaper™ NiTi-Feilen	Dentsply GmbH D-78467 Konstanz
26. Provil novo	Heraeus Kulzer GmbH D-63450 Hanau
27. Silberstifte	Vereinigte Dentalwerke GmbH D-81709 München
28. SPSS® 12.0	SPSS GmbH Software D-81669 München
29. Stativ	Feinwerktechnische Werkstätten der Philipps-Universität, D-35039 Marburg
30. Stemi® SV6 Auflichtmikroskop	Zeiss Deutschland D-73447 Oberkochen
31. Träger	Feinwerktechnische Werkstätten der Philipps-Universität, D-35039 Marburg

32. Vorsatzlinsen	HAMA GmbH & Co. KG D-86653 Monheim
33. Zufallsgenerator	Random Organisation Inc. Trinity College IRL-Dublin www.random.org

9.2. Liste physikalisch-chemischer Abkürzungen

ISO	International Organisation for Standardization (internationale Normierungsorganisation)
m%	Massenprozent
Mm	Mikrometer
min	Minuten
ml	Milliliter
mm	Millimeter
s	Sekunden

10. Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Stachniss, ohne dessen Schirmherrschaft diese Arbeit nicht hätte entstehen können und OA Dr. Sonntag, meinem großartigen Betreuer, der immer ein offenes Ohr für mich hatte und mich tatkräftig unterstützte.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei meinem Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglichten und mir Raum für die Vollendung dieser Arbeit gaben.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Verwandten, Bekannten und Freunden, die mir immer wieder Mut machten und mich motivierten.

11. Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten

In Marburg:

Aumüller, Austermann, Barth, Cetin, Czubayko, Daut, Dibbets, Eckhorn, Feuser, Flores de Jacoby, Folz, Gente, Geus, Göbel, Görg, Gudermann, Hasilik, Hellinger, Höffken, Kern, König, Koolmann, Kroh, Kulkens, Lammel, Lang, Lehmann, Lotzmann, Mengel, Mittag, Neumüller, Pieper, Radsak, Rausch, Röhm, Seitz, Siegel, Stachniss, Steiniger, Stelzel, Stiletto, Stoll, Suske, Umstadt, Voigt, Wagner, Weihe, Wenz, Werner, Western

